

**KÜTAHYA BÖLGESİNDE HAVA KALİTESİ
İZLEME İSTASYONLARI İÇİN YER SEÇİMİ VE
İSTASYONLARDA ÖLÇÜLEN KİRLETİCİLERİN
ZAMANSAL DEĞİŞİMLERİ**

Halil İbrahim HACIOĞLU
Yüksek Lisans Tezi

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı
NİSAN – 2015

"Bu tez çalışması, 1306F272 No'lu Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi ve 112Y305 No'lu TÜBİTAK Projeleri tarafından desteklenmiştir."

JÜRİ ONAYI

Halil İbrahim HACIOĞLU'nun "Kütahya Bölgesinde Hava Kalitesi İzleme İstasyonları İçin Yer Seçimi ve İstasyonlarda Ölçülen Kirleticilerin Zamansal Değişimleri" başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 10/04/2015 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç. Dr. Eftade Emine GAGA
Üye (II. Tez Danışmanı)	: Yrd. Doç. Dr. Ozan Devrim YAY
Üye	: Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU
Üye	: Prof. Dr. Tolga ELBİR
Üye	: Prof. Dr. Gürdal TUNCEL

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylamıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**KÜTAHYA BÖLGESİNDE HAVA KALİTESİ İZLEME İSTASYONLARI
İÇİN YER SEÇİMİ VE İSTASYONLARDA ÖLÇÜLEN KİRLETİCİLERİN
ZAMANSAL DEĞİŞİMLERİ**

HALİL İBRAHİM HACIOĞLU

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Eftade Emine Gaga
2015, 202 sayfa

Bu çalışma kapsamında, Kütahya bölgesinin hava kalitesinin değerlendirilmesine ilişkin olarak, bir yıl boyunca işletilmek üzere, bir kentsel ve bir de kırsal istasyon olmak üzere iki sabit hava kalitesi ölçüm istasyonu kurulmuştur. Hava kalitesi ölçüm istasyonlarının konumlandırılmasında, Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemleri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE) III metodları da kullanılmıştır. Kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve ozon (O₃) derişimleri otomatik analizörler kullanılarak belirlenmiştir.

Kırsal istasyondaki ozon seviyeleri kentsel istasyondaki ozon seviyelerinden daha yüksek ölçülürken, SO₂ seviyeleri için bu durum tam tersidir. Kentsel istasyonda evsel ısınmanın da etkisiyle kış aylarında yüksek derişimlerde ölçülen SO₂'nin, yaz mevsiminde belirli günlerde halen yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebinin de, hazırlanan kirlilik gülü grafikleri ile değerlendirildiğinde, kuzey ve kuzey-kuzey-batı sektörlü esen rüzgarlardan kaynaklı emisyonlar olduğu düşünülmektedir. Kırsal istasyon için hakim rüzgar yönü olan doğu ve batı yönlerinde baskın bir kirlenici kaynak bulunmadığından, SO₂ derişimleri düşük seviyelerde gözlenmektedir. Yüksek SO₂ derişimleri gözlemlenen günler için hazırlanan kirlilik gülü grafikleri değerlendirildiğinde, bu derişimlerin kuzey ve kuzey-kuzey-doğu yönünden esen rüzgarlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

İstasyonlarda gerçekleştirilen aktif ölçüm ve pasif örneklemele ait sonuçların, istatistiksel paket programı ile yapılan regresyon analizleri ile birbirini destekler nitelikte yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Hava kalitesi modelleme çalışmaları ile elde edilen derişimlerin bu verilerle karşılaştırılması faydalı olacaktır.

İstasyonlarda ölçülen kirlenitçiler ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki çoklu regresyon analizi ile incelenmiştir. Ozon ve SO₂ derişimlerinin hesaplanmasında, rüzgar hızı, sıcaklık, nem ve güneşlenme radyasyonu gibi meteorolojik parametrelerinin yanında NO_x ve bir önceki günün O₃ ve SO₂ derişimlerinin de kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hava Kalitesi İzleme İstasyonu, ÇÖKV, SO₂, NO_x, O₃

ABSTRACT
Master of Science Thesis

**SITE SELECTION FOR AIR QUALITY MONITORING STATIONS AND
TEMPORAL VARIATIONS OF POLLUTANTS IN KUTAHYA REGION**

HALİL İBRAHİM HACIOĞLU

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Eftade Emine GAGA
2015, 202 pages

In the scope of this study, two air quality monitoring stations, one rural and one urban, have been established for evaluating the air quality of Kütahya region for one year. Analytic Hierarchy Process (AHP) and Elimination Et Choix Traduisant la Réalité III (ELECTRE III), two well-known Multi Criteria Decision Making (MCDM) techniques, were used to select the best location for both air quality monitoring stations. Sulphur dioxide (SO₂), nitrogen oxides (NO_x) and ozone (O₃) concentrations were determined using automatic analyzers.

Ozone levels at the rural station were higher than the urban station while the situation was opposite for SO₂ levels. Under the effect of residential heating, SO₂ was at high levels at the urban station in winter and it was still high at certain days of the summer period. The reason of this situation is thought to be the emissions related with north and north-northwestern winds, as discussed by using pollution-rose-graphs. For the rural station, the absence of emission sources at dominant wind directions- east and west- caused low levels of SO₂ concentrations. Observed high concentrations on some days are thought to be related with north-northeast winds, according to pollution-rose-graphs.

Measurements and passive sampling results showed consistent high correlations by regression analyses through statistical software. Comparison of these concentrations with results obtained from air quality modeling would be beneficial.

Multiple linear regression analysis was used for determining the relationship between meteorological parameters and pollutants measured at stations. During the calculation of ozone and SO₂ concentrations, it was seen that not only meteorological parameters such as wind speed, temperature, moisture and solar radiation, but also NO_x, and O₃ and SO₂ concentrations of the preceding day can be used.

Keywords: Air Quality Monitoring Station, MCDM, SO₂, NO_x, O₃,

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başlangıcından sonuna kadar bütün aşamalarında benden yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her konuda bilgi birikimi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocalarım Sn. Doç. Dr. Eftade Emine GAGA ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Ozan Devrim Yay'a;

Jürimde yer alarak beni onurlandıran değerli hocalarım, Sn. Prof. Dr. Gürdal TUNCEL'e, Sn. Prof. Dr. Tuncay DÖĞEROĞLU ve Sn. Prof. Dr. Tolga ELBİR'e;

Tez ve ders aşamalarında bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan Sn. Doç. Dr. Aysun ÖZKAN'a;

Çalışmanın her aşamasında yanımda bulunan ve yardımlarını esirgemeyen sevgili hocalarım Akif ARI, Özlem Özden ÜZMEZ ve Hicran ALTUĞ, arkadaşlarım Pelin ERTÜRK, Narin POLAT, Derya ARIKÖK ULUTAŞ, Emre CAN ve Gizem TUNA'ya;

Manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli dostlarım Enis HASANOĞLU ve Alper MERGEN'e;

Bugüne kadar daima arkamda olup bana inanan, beni her zaman destekleyen, sonsuz güvenlerini daima hissettiren, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelebilmemin mimarı olan sevgili aileme, Berke HACIOĞLU'na ve her konuda bana destek olan Nutie ÖZGÜR'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenen 1306F272 numaralı “Kütahya Hava Kalitesinin ve Partikül Madde Genotoksitesinin Araştırılması” ve TÜBİTAK 112Y305 numaralı “Kütahya'da Hava Kalitesi Belirleme Çalışmaları: Kaynakların Tespiti, Ölçümler ve Sağlık Riski Analizi” isimli araştırma projeleri kapsamında gerçekleştirilen, “Kütahya Bölgesinde Hava Kalitesi İzleme İstasyonları İçin Yer Seçimi ve İstasyonlarda Ölçülen Kirleticilerin Zamansal Değişimleri” başlıklı bu çalışma Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Halil İbrahim HACIOĞLU

NİSAN 2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. NO _x , SO ₂ , O ₃ Kirleticileri Hakkında Genel Bilgiler.....	3
2.1.1. Kükürt oksitler (SO _x).....	3
2.1.1.1.Kükürt dioksitin insan sağlığı, bitkiler ve materyaller üzerine etkisi:	6
2.1.2. Azot oksitler (NO _x).....	7
2.1.2.1.Azot oksitlerin atmosferdeki dönüşüm reaksiyonları ve fotokimyasal duman oluşumu.....	9
2.1.2.2.Azot oksitlerin insan sağlığı, bitkiler ve materyaller üzerine etkisi:	11
2.1.3. Ozon (O ₃).....	12
2.1.3.1.Stratosferik ozon	12
2.1.3.2.Troposferik ozon	14
2.1.3.3.Ozonun insan sağlığı, bitkiler, materyaller ve sera gazları üzerindeki etkileri	17
2.2. Hava Kalitesi ile ilgili Mevzuat ve Sınır Değerlerin Ortaya Konulması.....	18
2.2.1. Hava kalitesi ile ilgili Türkiye mevzuatı	18

2.2.2.	Türkiye-AB mevzuat uyumu ve hedefler	19
2.2.3.	SO ₂ , NO _x ve O ₃ için sınır değerler, değerlendirme ve uyarı eşikleri.....	19
2.3.	Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri.....	20
2.4.	Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Metodolojileri (AHP ve ELECTRE)	21
2.4.1.	AHP	21
2.4.2.	ELECTRE.....	22
3.	LİTERATÜR TARAMASI	26
3.1.	Hava Kalitesinin Aktif / Pasif Örnekleme Yöntemi ile Ölçülmesi...26	
3.2.	Termik Santral Çevresinde Aktif ve Pasif Örnekleme Yöntemleri ile Hava Kalitesinin Belirlenmesi Çalışmaları	27
4.	MATERYAL ve METOD	32
4.1.	Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler	32
4.1.1.	Çalışma alanı ve çevresinde bulunan potansiyel kirletici kaynaklar.....	35
4.2.	Atmosferik Dağılım Modeli (AERMOD) ile Potansiyel İstasyon Yerlerinin Belirlenmesi.....	38
4.3.	İzleme İstasyonları İçin Mikro-Ölçekli Yer Seçimi Kriterleri.....	41
4.3.1.	Hava kalitesi izleme istasyonlarının fiziksel özellikleri	42
4.3.2.	Ekipman seçimi	45
4.3.3.	Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) çalışmaları izleme istasyonlarının yer seçimi kriterleri	45
4.4.	İzleme İstasyonları için Alternatifler	47
4.4.1.	Kırsal alan hava kalitesi istasyonu alternatifleri	48
4.4.2.	Kentsel alan hava kalitesi istasyonu alternatifleri	49
4.5.	Çok Ölçütlü Karar Verme Metodolojileri.....	49
4.6.	Dış Hava Kalitesi İzleme	52
4.6.1.	Otomatik örnekleme cihazları (analizörler): çalışma prensipleri... 52	
4.6.1.1.	SO ₂ analizörünün çalışma prensibi.....	53

4.6.1.2.NO _x analizörünün çalışma prensibi.....	55
4.6.1.3.O ₃ analizörünün çalışma prensibi.....	57
4.6.2. Pasif örnekleyiciler	59
4.7. Veri alma ve gerekli programlar	60
4.8. Kalite Kontrol	62
4.8.1. Rutin kalite kontrol prosesleri	62
4.8.1.1.Ölçüm noktası alt yapısı ve rutin işletme	62
4.8.1.2.Kalibrasyon işlemi için yardımcı cihaz ve ekipmanlar	63
4.8.1.3.Ekipman kalibrasyonu ve bakımı.....	64
4.8.1.4.Verii işletimi, raporlama ve negatif ve sıfır verilerinin ayıklanması	66
4.8.2. Analizör verilerinin kalite kontrolü ve denetimi	67
4.8.2.1.NO _x (Environnement NO _x – Thermo NO _x) derişimlerinin kalite kontrolü	67
4.8.2.2.SO ₂ (Environnement SO ₂ – Thermo SO ₂) derişimlerinin kalite kontrolü	70
4.8.2.3.O ₃ (Environnement O ₃ – Thermo O ₃) derişimlerinin kalite kontrolü.....	71
5. SONUÇLAR	74
5.1. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak İstasyon Yerlerinin Belirlenmesi.....	74
5.1.1. Kırsal ve kentsel istasyon yer seçimi ELECTRE sonuçları .	74
5.1.2. Kentsel ve kırsal istasyon yer seçimi için AHP sonuçları	80
5.1.3. AHP ve ELECTRE sonuçlarının karşılaştırılması.....	84
5.1.4. AHP ve ELECTRE duyarlılık analizleri	85
5.1.4.1.AHP duyarlılık analizleri	85
5.1.4.2.ELECTRE duyarlılık analizleri.....	87

5.2.	Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	91
5.2.1.	Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonları NO _x (azot oksitler) ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi.....	91
5.2.2.	Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonları O ₃ (Ozon) ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi	100
5.2.3.	Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonları SO ₂ (Kükürt dioksit) ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi.....	106
5.2.4.	Kentsel (merkez) ve kırsal (göbel) istasyonlarındaki NO ₂ -O ₃ arasındaki ilişkinin açıklanması	118
5.2.4.1.	Kentsel (merkez) istasyon	118
5.2.4.2.	Kırsal (göbel) istasyon	119
5.2.5.	Kentsel (merkez) ve kırsal (göbel) istasyonlarındaki NO _x -SO ₂ oranları arasındaki ilişkinin açıklanması	119
5.3.	Ölçüm Sonuçlarının Pasif Örneklemeler ile Karşılaştırılması.....	121
5.3.1.	Kırsal istasyon aktif ölçüm sonuçlarının pasif örnekler ile karşılaştırılması.....	122
5.3.1.1.	O ₃	122
5.3.1.2.	NO ₂	123
5.3.2.	Kentsel istasyon aktif ölçüm sonuçlarının pasif örnekler ile karşılaştırılması.....	125
5.3.2.1.	O ₃	125
5.3.2.2.	NO ₂	126
5.3.2.3.	SO ₂	127
5.4.	Hava Kalitesi İzleme İstasyonu Verilerinin Termik Santrale Ait İstasyonlardaki Veriler ile Karşılaştırılması	129
5.4.1.	Kentsel istasyon ve Seyitömer Termik Santrali istasyonlarının karşılaştırılması	130
5.4.1.1.	SO ₂	130
5.4.1.2.	NO	132

5.4.1.3.NO ₂	134
5.4.2. Kırsal istasyon ve Tunçbilek Termik Santrali istasyonlarının karşılaştırılması	136
5.4.2.1.SO ₂	136
5.4.2.2.NO	139
5.4.2.3.NO ₂	141
5.5. Derişimlerin Meteorolojik Parametrelere Göre Değerlendirilmesi	144
5.5.1. Çoklu regresyon analizleri ile kirletici derişimlerinin ve meteorolojik parametrelerin değerlendirilmesi.....	146
5.5.2. Rüzgar sektör analizleri ile derişimlerin açıklanması.....	148
5.5.3. Derişimlerin karışma yüksekliğine göre değerlendirilmesi	152
6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER	158
Ek- 1. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında SO ₂ için belirlenen hedef değerler	162
Ek-2. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında NO _x için belirlenen hedef değerler	163
Ek-3. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında O ₃ için belirlenen hedef değerler.....	164
Ek-4. SO ₂ ölçüm yöntemleri	165
Ek-5. NO ₂ ölçüm yöntemleri.....	167
Ek-6. O ₃ ölçüm yöntemleri	169
Ek-7. İstasyon kontrol çizelgesi	171
Ek-8. Kamu ve özel sanayi kuruluşlarının sektör olarak dağılımı	172
KAYNAKLAR	173

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Kükürt döngüsü.....	4
2.2. Kirleticilerin zaman ve mesafeye bağlı ölçekleri.....	6
2.3. Azot bileşikleri arasında atmosferde gerçekleşen azot döngüsü.....	9
2.4. NO'nun günlük süreç içerisinde fotokimyasal yükseltgenmesi.....	10
2.5. Ozon bileşikleri arasında atmosferde gerçekleşen ozon döngüsü.....	16
4.1. Kütahya ili, ilçeleri, hava kalitesi izleme istasyonları ve termik santraller ...	32
4.2. Kütahya şehir merkezi (a) ve Tavşanlı ilçesi (b) 2014 yılına ait yıllık rüzgar gülleri.....	34
4.3. Çalışma alanında bulunan bazı kirletici kaynaklar ve çeşitli arkeolojik alanlar	36
4.4. Çalışmanın akım şeması.....	37
4.5. Termik santrallerden kaynaklı yıllık ortalama SO ₂ derişimi dağılımı	40
4.6. Termik santrallerden kaynaklı yıllık ortalama PM ₁₀ derişimi dağılımı	40
4.7. Kurulan istasyonlara ait çekilen fotoğraflar; kırsal (a), kentsel (b)	44
4.8. ÇÖKV metodlarına ait hesaplama sayfaları (a) ve sonuç ekranları (b)	50
4.9. ÇÖKV çalışmasının akış diyagramı.....	51
4.10. Floresans SO ₂ analizörü	54
4.11. Kimyasal ışımaya yöntemi.....	57
4.12. UV fotometrik yöntemi analizörü	58
4.13. Pasif örnekleyicilere ait fotoğraflar.....	60
4.14. Kırsal (a) ve kentsel (b) istasyonuna ait veri alma akım şeması.....	62
4.15. Merkez istasyonda kaydedilen Environnement NO _x ve Thermo NO _x derişimlerine ait zaman serileri.....	68
4.16. Environnement NO _x ve Thermo NO _x derişimlerine ait dağılım grafikleri ..	68
4.17. Merkez istasyonda kaydedilen Environnement SO ₂ ve Thermo SO ₂ derişimlerine ait zaman serileri.....	70
4.18. Environnement SO ₂ ve Thermo SO ₂ derişimlerine ait dağılım grafikleri....	70

4.19. Merkez istasyonda kaydedilen Environnement O ₃ ve Thermo O ₃ derişimlerine ait zaman serileri.....	72
4.20. Environnement O ₃ ve Thermo O ₃ derişimlerine ait dağılım grafikleri	72
5.1. Kırsal istasyona ait karar hiyerarşı yapısı	82
5.2. Kentsel istasyona ait karar hiyerarşı yapısı.....	82
5.3. Kırsal hava kalitesi izleme istasyonu yer seçimi AHP sonuçları.....	83
5.4. Kentsel hava kalitesi izleme istasyonu yer seçimi AHP sonuçları	83
5.5. AHP metodundan elde edilen kentsel istasyon duyarlılık analizi sonuçları ..	86
5.6. AHP metodundan elde edilen kırsal istasyon duyarlılık analizi sonuçları.....	86
5.7. Kırsal ve kentsel istasyon için karar verilen yerler	90
5.8. Kırsal istasyonda ölçülen NO _x derişimlerinin mevsimsel değişimi	91
5.9. Kırsal istasyonda ölçülen NO _x derişimlerinin aylık değişimi	92
5.10. Kırsal istasyonda ölçülen NO _x derişimlerinin günlük ortalamaları.....	92
5.11. Ölçüm periyodu boyunca NO/NO ₂ oranları.....	94
5.12. Ölçüm periyodu boyunca NO ₂ /NO oranları.....	94
5.13. Kentsel istasyonda ölçülen NO _x derişimlerinin mevsimsel değişimi.....	96
5.14. Kentsel istasyonda ölçülen NO _x derişimlerinin aylık değişimi	96
5.15. Kentsel istasyonda ölçülen NO _x derişimlerinin günlük ortalamaları ve NO ₂ /NO oranları	97
5.16. Kentsel istasyondaki NO (a) ve NO ₂ (b) derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri	98
5.17. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen aylık NO (a) ve NO ₂ (b) derişimleri	100
5.18. Kırsal istasyonda ölçülen O ₃ derişimlerinin mevsimsel değişimi	101
5.19. Kırsal istasyonda ölçülen O ₃ derişimlerinin aylık değişimi	101
5.20. Kırsal istasyonda ölçülen O ₃ derişimlerinin günlük ortalamaları.....	102
5.21. Aylık güneşlenme radyasyonu ve sıcaklık grafiği	102
5.22. Kentsel istasyonda ölçülen O ₃ derişimlerinin mevsimsel değişimi.....	103
5.23. Kentsel istasyonda ölçülen O ₃ derişimlerinin aylık değişimi.....	103
5.24. Kentsel istasyonda ölçülen O ₃ derişimlerinin günlük ortalamaları	104
5.25. Kentsel istasyondaki O ₃ derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri	104
5.26. Saatlik O ₃ / güneşlenme radyasyonu	105

5.27. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen aylık O ₃ derişimleri.....	106
5.28. Kırsal istasyonda ölçülen SO ₂ derişimlerinin mevsimsel değişimi	107
5.29. Kırsal istasyonda ölçülen SO ₂ derişimlerinin aylık değişimi	107
5.30. Kırsal istasyonda ölçülen SO ₂ derişimlerinin günlük ortalamaları	107
5.31. DEM haritaları yardımı ile kırsal istasyon ve Tunçbilek Termik Santralini gösteren 3-boyutlu topografik harita.....	109
5.32. DEM haritaları yardımı ile kırsal istasyon, Tunçbilek Termik Santrali ve Tavşanlı-Kütahya istikametinde bulunan Seyitömer Termik Santralini gösteren 3-boyutlu topografik harita.....	109
5.33. Seçilen günler için saatlik SO ₂ derişimleri ve o günler için kirlilik gücü haritaları (a, b, c) – kırsal istasyon.....	112
5.34. Kentsel istasyonda ölçülen SO ₂ derişimlerinin mevsimsel değişimi	113
5.35. Kentsel istasyonda ölçülen SO ₂ derişimlerinin aylık değişimi.....	113
5.36. Kentsel istasyonda ölçülen SO ₂ derişimlerinin günlük ortalamaları	113
5.37. Kentsel istasyondaki SO ₂ derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri..	114
5.38. 25 Mayıs (a), 17 Temmuz (b), 31 Temmuz (c), 2 Ağustos (d), 3 Ağustos (e) ve 1 Eylül (f) tarihlerinde pik yapan günlere ait SO ₂ kirletici gülleri..	115
5.39. Kentsel istasyon aylık rüzgar sektör grafikleri.....	116
5.40. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen aylık SO ₂ derişimleri.....	117
5.41. Kentsel istasyonda seçili gün için saatlik NO ₂ /O ₃ karşılaştırması	118
5.42. Kırsal istasyonda seçili gün için saatlik NO ₂ /O ₃ karşılaştırması	119
5.43. Kentsel istasyonu için NO _x / SO ₂ oranları.....	120
5.44. Kırsal istasyonu için NO _x / SO ₂ oranları	121
5.45. Kırsal istasyon O ₃ verilerinin karşılaştırılması	122
5.46. Kırsal istasyon O ₃ verilerinin korelasyonu	123
5.47. Kırsal istasyon NO ₂ verilerinin karşılaştırılması	124
5.48. Kırsal istasyon NO ₂ verilerinin korelasyonu	124
5.49. Kırsal istasyon O ₃ verilerinin karşılaştırılması	125
5.50. Kırsal istasyon O ₃ verilerinin korelasyonu	126
5.51. Kırsal istasyon NO ₂ verilerinin karşılaştırılması	127
5.52. Kırsal istasyon NO ₂ verilerinin korelasyonu	127
5.53. Kırsal istasyon SO ₂ verilerinin karşılaştırılması	128

5.54. Kırsal istasyon SO ₂ verilerinin karşılaştırılması	129
5.55. Çalışma alanındaki termik santraller ve hava kalitesi izleme istasyonları.	130
5.56. Kentsel ve Seyitömer hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen SO ₂ seviyelerinin aylık karşılaştırılması	131
5.57. Seyitömer Bursa Çimento (S1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen SO ₂ seviyelerinin saatlik gösterimi	132
5.58. Seyitömer Jandarma (S2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen SO ₂ seviyelerinin saatlik gösterimi	132
5.59. Kentsel ve Seyitömer hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO seviyelerinin aylık karşılaştırılması	133
5.60. Seyitömer Bursa Çimento (S1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO seviyelerinin saatlik gösterimi	134
5.61. Seyitömer Jandarma (S2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO seviyelerinin saatlik gösterimi	134
5.62. Kentsel ve Seyitömer hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO ₂ seviyelerinin aylık karşılaştırılması	135
5.63. Seyitömer Bursa Çimento (S1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülenNO ₂ seviyelerinin saatlik gösterimi	135
5.64. Seyitömer jandarma (S2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO ₂ seviyelerinin saatlik gösterimi	136
5.65. Kırsal ve Tunçbilek hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen SO ₂ seviyelerinin aylık karşılaştırılması	137
5.66. Tunçbilek 1 No'lu (T1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen SO ₂ seviyelerinin saatlik gösterimi	137
5.67. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen SO ₂ seviyelerinin saatlik gösterimi	138
5.68. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda 01.01.2014 - 25.02.2014 tarihleri için SO ₂ kirlilik gülü ve harita üzerinde gösterimi	139
5.69. Kırsal ve Tunçbilek hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO seviyelerinin aylık karşılaştırılması	139

5.70. Tunçbilek 1 No'lu (T1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO seviyelerinin saatlik gösterimi	140
5.71. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO seviyelerinin saatlik gösterimi	140
5.72. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda 01.01.2014 - 13.02.2014 tarihleri için NO kirlilik gülü ve harita üzerinde gösterimi	141
5.73. Kırsal ve Tunçbilek hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO ₂ seviyelerinin aylık karşılaştırılması	142
5.74. Tunçbilek 1 No'lu (T1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO ₂ seviyelerinin saatlik gösterimi	142
5.75. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO ₂ seviyelerinin saatlik gösterimi	143
5.76. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda 01.01.2014 - 13.02.2014 tarihleri için NO ₂ kirlilik gülü ve harita üzerinde gösterimi... ..	143
5.77. Kentsel istasyondaki farklı rüzgar yönlerinden yüzde katkı	149
5.78. Kentsel istasyondaki SO ₂ (a), NO (b), NO ₂ (c) ve O ₃ (d) kirleticilerine ait katkı grafikleri	150
5.79. Kırsal istasyondaki farklı rüzgar yönlerinden yüzde katkı	151
5.80. Kırsal İstasyondaki SO ₂ (a), NO (b), NO ₂ (c) ve O ₃ (d) kirleticilerine ait katkı grafikleri	151
5.81. Ölçümü yapılan günler için karışma yüksekliği ortalamaları (a) ve aylık karışım yüksekliği ortalamaları (b).....	153
5.82. Kentsel istasyondaki kış dönemine ait karışma yüksekliği-kirletici değişimleri grafiği, Ocak ayı (a), Şubat ayı (b) Aralık ayı (c)	154
5.83. Kırsal istasyondaki kış dönemine ait karışma yüksekliği-kirletici değişimleri grafiği, Ocak ayı (a), Şubat ayı (b) Aralık ayı (c)	155
5.84. Kentsel istasyon için hazırlanan karışma yüksekliğine karşı O ₃ (a), NO _x (b) ve SO ₂ (c) değişimleri grafiği	157

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1. Çeşitli derişimlerdeki NO gazının %20 Oksijen ve 20 °C atmosfer koşullarında NO ₂ gazına dönüşme oranı ve süreleri	8
4.1. Termik santrallere ait yıllık toplam emisyonlar	39
4.2. AHP ve ELECTRE çalışmaları için oluşturulan kriterler	46
4.3. Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonlarından yer alan analizörler	53
4.4. Environnement NO _x ve Thermo NO _x verilerine ait varyans analizi sonuçları.....	69
4.5. Environnement NO _x ve Thermo NO _x derişimlerine ait tek yönlü ANOVA testi sonuçları.....	69
4.6. Environnement SO ₂ ve Thermo SO ₂ verilerine ait varyans analizi sonuçları.....	71
4.7. Environnement O ₃ ve Thermo O ₃ verilerine ait varyans analizi sonuç çizelgesi	73
5.1. Kentsel ve kırsal istasyonlar için oluşturulan performans matrisleri	75
5.2. ELECTRE III metodunda kırsal ve kentsel istasyonlar için kriterlere ait eşik değerleri ve ağırlıklandırmaları	79
5.3. Kırsal istasyona ait güvenilirlik ve uyum matrisleri	80
5.4. Kentsel istasyona ait güvenilirlik ve uyum matrisleri.....	80
5.5. İkili karşılaştırma ölçeği.....	81
5.6. Kırsal istasyona ait ELECTRE ve AHP sıralama sonuçları.....	84
5.7. Kentsel istasyona ait ELECTRE ve AHP sıralama sonuçları	84
5.8. Kriter ağırlıklandırma değişiklikleri	87
5.9. ELECTRE metodundan elde edilen kırsal istasyon duyarlılık analizi sonuçları.....	88
5.10. ELECTRE metodundan elde edilen kentsel istasyon duyarlılık analizi sonuçları.....	89
5.11. Bir yıllık süreç içerisinde analizörlerin veri kaydetme yüzdeleri	89

5.12. Kirletici derişimleri meteorolojik faktörlerin ortalamaları ve standart sapmaları.....	145
5.13. Kirleticiler ve meteorolojik parametrelerden elde edilen korelasyon katsayısı değerleri	145
5.14. Kırsal ve kentsel istasyonda ölçülen kirletici meteorolojik parametrelere ait çeşitli çoklu regresyon denklemleri	147

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Santigrat Derece
AERMOD	: American Meteorological Society / Environmental Protection Agency Regulatory Model
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
BAKI	: Boric Acid Buffered Potassium Iodide (Borik Asit Tampon Çözeltisi)
BTU	: British Thermal Unit (İngiliz Isı Birimi)
CALPUFF	: California Puff Model
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CO	: Karbon Monoksit
CO ₂	: Karbon Dioksit
CORINAIR	: Core Inventory Air Emissions
ÇÖKV	: Çok Ölçütlü Karar Verme (Multiple Criteria Decision Making)
DIAL	: Differential Absorption Lidar (Türevsel Absorpsiyon Lidarı)
DMSS	: Doz İzleme Araştırma Tasarımı
DOAS	: Differential Optical Absorption Spectroscopy (Diferansiyel Optik Absorpsiyon Spektroskopisi)
DPE	: 1,2-di(4-pyridyl)-etilen
ELECTRE	: Elimination Et Choix Traduisant la Réalité
EMEP	: The European Monitoring and Evaluation Programme (Avrupa'da Hava Kirlenmelerinin Sınırlarötesi Taşınımının Takibi ve Değerlendirilmesi İşbirliği Programı)
EPA	: Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
HKDYY	: Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği
IC	: Ion Chromatography (İyon Kromatografi)
ISCST3	: The Industrial Source Complex -Short Term Model-Version 3
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
KI	: Potasyum İyodür

KOH	: Potasyum hidroksit
KÜMAŞ	: Kütahya Manyezit A.Ş.
lt	: Litre
NBKI	: Neutral Buffered Potassium Iodide
NMHC	: Metan içermeyen hidrokarbonlar
NO	: Azot Oksit
NO ₂	: Azot Dioksit
NOAA/ESRL	: National Oceanic & Atmospheric Administration/Earth System Research Laboratory
NO _x	: Azot Oksitler
O ₃	: Ozon
PAN	: Peroksiasetil Nitrat
ppb	: Parts per billion (Milyarda bir)
ppm	: Parts per million (Milyonda bir)
PROMETHEE	: Preference Ranking Organization Method Enrichment Evaluation
ROC	: Reaktif Organik Karbon
SO ₂	: Kükürt Dioksit
SO _x	: Kükürt Oksitler
TCM	: Tetrakloro Merkürat
TEA	: Triethanolamin
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜGSAŞ	: Türkiye Gübre San. A.Ş.
TÜSİAD	: Türk Sanayicileri ve İş adamları Derneği
UOB	: Uçucu Organik Bileşen
UV	: Ultraviyole
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

1. GİRİŞ

Türkiye’de birçok kent merkezinde evsel ısınma, trafik aktiviteleri ve sanayi nedeniyle meteorolojik şartlara da bağlı olarak hava kirliliği sorunları görülmektedir. Kış aylarında ısınmadan kaynaklanan hava kirliliğinin başlıca nedenleri; kalitesiz yakıtların iyileştirilme işlemine tabi tutulmadan kullanılması, kullanılan yakma sistemlerinin işletme bakımlarının düzenli olarak yapılmaması ve yanlış yakma tekniklerinin uygulanması şeklinde sıralanabilmektedir. Sanayi tesislerinin kurulması aşamasında yer seçiminde yapılan yanlışlıklar da hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Önemli endüstriyel kaynaklardan biri olan termik santraller, elektrik enerjisi elde etmek amacıyla dünyanın her yerinde kullanılmakta olup enerji üretirken aynı zamanda atmosfere de birtakım kirleticiler salmaktadırlar. Özellikle kahverengi kömür olarak da bilinen ve genelde termik santral yakıtı olarak kullanılan düşük kalorili bir kömür cinsi olan linyitin bu tesislerde yakılmasıyla yüksek miktarda kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), uçucu hidrokarbonlar, partikül maddeler (PM) ve kül gibi kirleticiler atmosfere salınmaktadır (Ôzkan, 2013). Bu kirleticilerin atmosfere salınmasıyla tesis çevresinde ve meteorolojik şartlara da bağlı olarak uzak bölgelere de taşınması o bölge içinde hava kirliliğine neden olmaktadır. Şehirlerde yaşanan hava kirliliğine, sayısı artan motorlu taşıtlardan kaynaklı egzoz gazları da katkı sağlamaktadır.

Hava kirliliğine neden olan emisyon kaynakları genel olarak üç başlık altında toplanmaktadır. Bu emisyonlar ısınma, endüstri ve motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlardır (Wark ve ark., 1998). Bu emisyon kaynakları dikkate alındığında, kirleticilerin izlenmesi için hava kalitesi istasyonlarının önemi artmaktadır. Hava kirleticilerine maruziyetin belirlenmesi, yerleşim ve sanayi bölgelerinde kirletici derişimlerinin tespit edilmesi ve buna yönelik hava kalitesi eylem planlarının geliştirilmesi için bir temel oluşturması, kirletici kaynaklarının ve risklerinin belirlenmesi, arazi kullanımının planlanması, trafik planlaması/yönetimi, zamansal ve mekansal maruziyet veya uzun vadeli eğilimlerinin belirlenmesi ve toplumun hava kalitesi konusunda bilgilendirilmesi

amacıyla hava kalitesi izleme istasyonları bu aşamada önemli bir yer tutmaktadır (Boubel ve ark., 1994).

Bu çalışmanın amaçlarını maddeler halinde aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür.

- Kütahya kent ve kırsalında hava kalitesini belirlemek
- Bölgedeki kirletici derişimlerini etkileyen parametreleri incelemek
- Termik santrallerin bölge hava kalitesine etkilerini araştırmak.

Bu amaçlara ulaşabilmek için, Kütahya kent merkezinde ve Tavşanlı İlçesi Göbel köyüne iki hava kalitesi izleme istasyonu kurulmuştur. Her iki hava kalitesi ölçüm istasyon yerleri, Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemleri olan Analitik Hiyerarşı Prosesi (AHP) ve Elimination Et Choix Traduisant la Realité (ELECTRE) III ile seçilmiş, SO₂, NO_x ve O₃ analizörlerine ait verilerin toplanmış, cihazların kalibrasyon ve bakımları yapılmıştır. Bu çalışmanın bir diğer amacı da temiz hava eylem planlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktır. Yapılan bu çalışma ile gelecekte yapılacak olan diğer çalışmalara da ışık tutulması planlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. NO_x, SO₂, O₃ Kirleticileri Hakkında Genel Bilgiler

İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunan hava kirliliği, kentsel yaşam kalitesi üzerinde önemli bir faktör olduğu bilinmektedir (Godish, 2004). Hava kirliliğine neden olan bu kirleticiler, havada katı, sıvı ve gaz halde bulunmaktadır. Hava kirleticileri çeşitli özellikleri göz önüne alınarak sınıflandırılmaktadır. Kirletici maddelerin bazıları doğrudan kirletici kaynaktan atıldıkları şekilde ortam havasında bulunabilmekte olup "birincil kirleticiler" olarak adlandırılırlar. Bu kirleticilerden bazıları atmosferde bulunan oksitleyici ozon ve fotokimyasal tepkimelerle daha ileri oksitlenme seviyelerine de yükseltgenebilmektedirler. Bu tepkimeler sonucunda oluşan ara maddeler atmosferdeki su buharı ile birlikte sülfürik asit, nitrik asit, karbonik asit gibi doğaya zarar veren ürünleri oluşturarak asit yağmurlarına neden olmaktadır. Bu tür oluşumlara "ikincil kirlenme" denir (Doğru, 2007).

Evsel ısınma, endüstriyel aktiviteler ve trafik aktiviteleri gibi çeşitli antropojenik faaliyetler ile kirleticiler atmosfere salınmaktadır. Ortama atılan gaz ve partikül fazdaki kirleticiler önemli sağlık risklerine yol açmaktadırlar (Jacob, 1999).

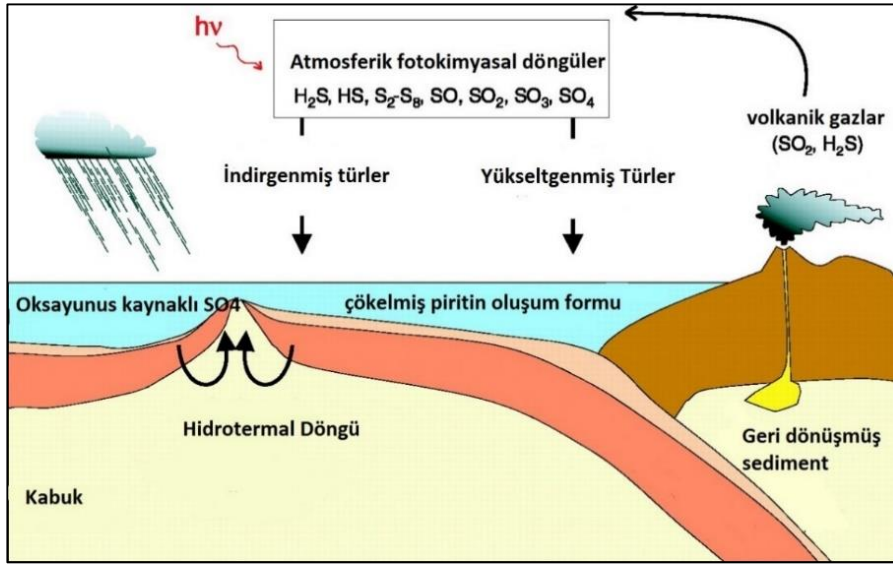
Kentsel atmosferlerde CO, O₃, NO_x, SO₂, PM gibi inorganik gaz fazı kirleticiler ve kurşun (Pb) gibi çeşitli ağır metaller yüksek derişimlerde bulunabilmektedir. Hangi kirleticilerin hava kalitesi problemlerine sebep olduğu; endüstrileşme ve uygulanan kontrol tedbirleri, ulaşım tipleri, meteorolojik ve topografik karakteristikleri içeren çok sayıda faktöre bağlıdır (Boubel ve ark., 1994).

Tez çalışması kapsamında hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen hava kirleticilerinin özellikleri ilerleyen kısımlarda özetlenmiştir.

2.1.1. Kükürt oksitler (SO_x)

Kükürt oksitler (SO_x), kükürt içeren yakıtların (kömür ve yağ) yakılması ve kükürt içerikli cevherlerin ergitilmesi (çoğunlukla bakır, kurşun ve çinko) sonucu

oluşmaktadır (İncecik, 1994). Kükürt oksitler, özellikle termik santraller başta olmak üzere, fosil yakıtların kullandığı evsel ısınma ve diğer sanayilerden atmosfere atılmaktadırlar (Akdur ve ark., 1998). Havadaki kükürt oksitler, altı farklı kükürt oksidinden oluşmaktadır (Jacob, 1999). Bu oksitler; Kükürt oksit (SO), kükürt dioksit (SO₂), kükürt trioksit (SO₃), dikükürt trioksit (S₂O₃), dikükürt heptaoksit (S₂O₇) ve kükürt tetraoksit (SO₄)'tir. Atmosferdeki kükürt döngüsü Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kükürt döngüsü (Lens, 2009)

SO₂, atmosferde oldukça hızlı bir oksitlenmeyle kükürt trioksit (SO₃) ve çeşitli sülfatlara dönüşür. Kükürt trioksit sülfürik asidin anhidriti olup; yağmur veya yoğunlaşmış nem (sis) damlaları ile birleşerek havada bu asidin damlacıklarının oluşmasına neden olurlar. Sülfatlar ise çoğunlukla 0.2-0.9 µm çapa sahip katı tanecikler şeklinde bulunup, görünür ışığın 0.4-0.7 µm olan dalga boyları ile girişim yaparak görüş mesafesini azaltır ve güneş ışınımını engelleyerek yerel iklimlerde soğumaya yol açarlar. Bu yüzden kent atmosferinde tipik SO₂ seviyeleri ve bağıl nem seviyelerinin de %50'den fazla olduğu günlerde, görüş mesafesinde önemli düşüşler gözlenmektedir (Yeşilyurt ve Akcan, 2001; Jones, 2008).

SO₂ gazı, 20 °C’de suda çözünebilmektedir. Havadan iki kere daha ağır olup 2-4 gün süreyle havada kalmaktadır. SO₂, havanın nemi ile birleşerek sülfüroz asit oluşturmaktadır (Bkz. Denklem 2.1).



Denklem (2.2)’den atmosferdeki SO₂’nin büyük bir kısmı SO₃ haline yükseltgenmektedir. SO₃’de, denklem (2.3)’de görüldüğü gibi su buharı ile sülfirik asit haline dönüşmektedir. Öte yandan SO₂ atmosferde amonyak ile de reaksiyona girebilmektedir. Amonyak (NH₃), nemli hava ve SO₂ varlığında hızlı bir şekilde amonyum sülfat tuzunu oluşturmaktadır (Bkz. 2.4).



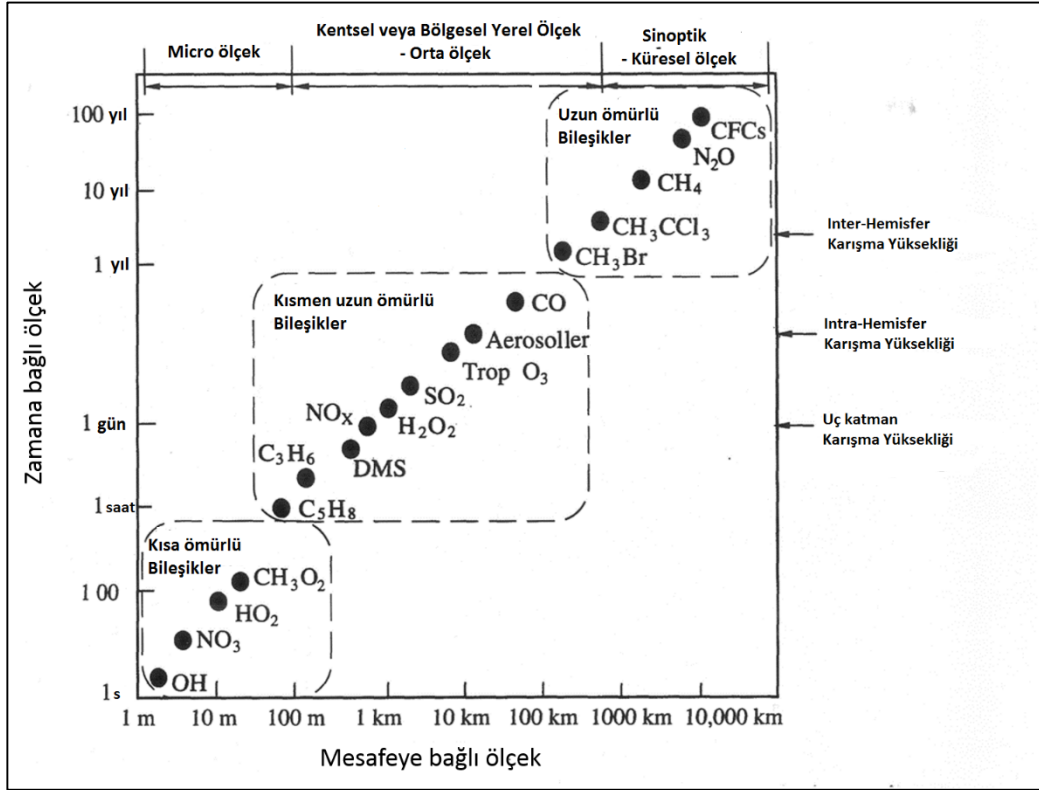
Atmosferde SO₂’nin yükseltgenmesi ile oluşan H₂SO₄ ile NH₃’ün etkileşmesiyle de aynı tuz oluşur (Bkz. 2.5).



Oluşan bu iyon ve moleküller, yağmur suyunun pH seviyesini düşürerek, yağmur suyuyla beraber asit yağmurlarını meydana getirmektedir. Asit yağmurları yer üstü ve yer altı su kaynaklarında pH değerini düşürerek doğal dengenin bozulmasına da yol açmaktadırlar. Ayrıca asidik yağmurlarla yıkanan topraktaki besin maddeleri suda daha çok çözünerek suyla birlikte topraktan kaçıp gitmekte ve toprağın verimi düşmektedir.

Kırsal bölgelerde, çeşitli kaynaklardan atmosfere salınan SO₂’nin kimyasal dönüşümünün, havada kalma süresi genellikle birkaç saat ile sınırlı olduğu durumlarda maksimum konsantrasyonları tahmin etmekte nispeten önemsiz olduğu kabul edilir. Bununla birlikte, kentsel alanlarda kirleticiler arasındaki sinerjistik etkiler önemli bir sonuç olup kimyasal dönüşüm hızları dikkate alınabilir. Kentsel alan uygulamalarında, SO₂ emisyonlarının analizinde 4 saatlik bir yarılanma ömrü uygulanabilmektedir (örneğin AERMOD modelinde kentsel simülasyonlar için 4

saatlik bir SO₂ yarılanma ömrü kullanılmaktadır) (EPA, 2010). Bu durumda, kırsal istasyona ulaşan SO₂ emisyonlarındaki kimyasal değişim ihmal edilebilirken, kentsel istasyonda ölçülen SO₂ derişimlerinin, kaynaktan hava kalitesi istasyonuna ulaşana kadar gerçekleşen atmosferik değişimlerden etkilenme olasılığının daha fazla olacağı söylenebilir. Şekil 2.2 incelendiğinde SO₂ ve diğer kirleticilerin zamana ve mesafeye bağlı değişimleri görülmektedir.



Şekil 2.2. Kirleticilerin zaman ve mesafeye bağlı ölçekleri (Wallace ve Hobbs, 2006)

2.1.1.1. Kükürt dioksitin insan sağlığı, bitkiler ve materyaller üzerine etkisi:

SO₂, H₂SO₄ ve SO₄ tuzları solunum sistemini ve mukozayı tahriş etmekte olup bronşit ve astım gibi kronik hastalıkların oluşumuna yol açmaktadır. SO₂, PM ile birleştiğinde, solunum sisteminde daha uzun süreler kaldığı için çok daha tehlikeli hale gelmektedir. 20 ppm'den itibaren etkiler akut hale gelmektedir. Hatta

400-500 ppm derişimlerde, kısa sürede öldürücü olabilmektedir (Müezzinoğlu, 2002).

SO₂'nin bitkilere olan etkileri akut ve kronik olabilmektedir. Akut etki, yapraklarda hücre bozunması ile ortaya çıkmaktadır (8 saatte 0.3 ppm). Kronik etki de benzer zararlara yol açarak düşük derişimlerde (0.01 ppm) ve daha uzun sürede kendisini göstermektedir. Bitkiler büyüme mevsimlerinde SO₂'ye daha da duyarlı hale gelmektedirler (Godish, 2004).

Sülfürik asit aerosolleri, mermer ve kireçtaşı gibi karbonat içeren inşaat materyallerine rahatça etki etmektedir. Suda çözünen sülfatlar ve karbonatlar yer değiştirerek kalsiyum sülfat veya jips (CaSO₄) meydana gelmektedir. Sülfürik asit, demir, çinko, bakır gibi birçok metalin korozyonunu hızlandırır. H₂SO₄ tekstil ürünlerinin (pamuk, naylon, ipek vs.) yapısını bozmakta ve mukavemetini azaltmaktadır. (Müezzinoğlu, 2002).

2.1.2. Azot oksitler (NO_x)

NO_x, havadaki en önemli kirletici gazlar arasında yer almakta olup yanma sürecinde yüksek sıcaklık bölgesinde oluşan azot monoksit (NO) ile bunun daha ileri oksitlenme ürünü olan NO₂ gazlarının toplamından oluşmaktadır. NO, suda çözünlüğü oldukça düşük, renksiz, kokusuz bir gaz, NO₂ ise kırmızı-kahverengi renkli, keskin kokulu ve aşındırıcı özelliğe sahip bir gazdır (Graham ve ark., 1997) (Bkz. 2.6).

$$NO_x = NO + NO_2 \quad (2.6)$$

Azot, atmosferde büyük oranda moleküler azot (N₂) şeklinde bulunmasına rağmen, oksitlenmiş ve indirgenmiş formlarda azot bileşiklerini de daha az oranlarda atmosferde bulunmaktadır. İndirgenmiş bileşikler NH₃ (amonyak) ve amonyum (NH₄⁺); oksitlenmiş bileşikler ise nitröz oksit (N₂O), azot monoksit (NO), azot dioksit (NO₂), diazot trioksit (N₂O₃), diazot tetraoksit (N₂O₄), diazot pentaoksit (N₂O₅), nitröz asit (HNO₂), nitrik asit (HNO₃), peroksiasetil nitrat (PAN) ve partiküler nitrat (NO₃⁻)'tır (İncecik, 1994). NO gazının bir kısmı atmosferdeki oksijenle yükseltgenerek NO₂ haline dönüşmektedir ve bu yükseltgenme

sonucunda NO miktarı azaldığından, NO_x gazları NO₂ eşdeğeri ile tanımlanmaktadır. NO'nun yükseltgenmesi sonucu oluşan NO₂, yüksek sıcaklıklarda dayanıklı olmadığından hemen parçalanarak oksijen ve NO gazını oluşturmaktadır (Bkz. 2.7).



Çizelge 2.1'de çeşitli derişimlerdeki NO gazının, NO₂ gazına dönüşme oranları ve süreleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çeşitli derişimlerdeki NO gazının %20 Oksijen ve 20 °C atmosfer koşullarında NO₂ gazına dönüşme oranı ve süreleri (Boşgelmez ve ark., 2000)

Havadaki NO derişimi (ppm)	Dönüşme oranları ve süreleri		
	%25	%50	%90
10,000	8.4 saniye	24 saniye	3.6 dakika
1,000	1.4 dakika	4 dakika	36 dakika
100	14 dakika	40 dakika	6 saat
10	2.3 saat	7 saat	63 saat
1	24 saat	72 saat	448 saat

Doğal azot çevriminin birer parçası olan ve yanma kaynaklı olan bu gazlardan asıl zehirli olanı NO₂ gazıdır. Atmosferdeki yarılanma ömürleri düşük olup, atmosferde 1 ppb'den daha az derişimlerde olmaları beklenmektedir (Boşgelmez ve ark., 2000). Yapılan çeşitli çalışmalarda, kentsel atmosferde bu derişimler 40-80 ppb ve hatta 300-1,400 ppb değerlerine kadar yükselmektedir (Ozkurt ve ark., 2013).

Doğal kaynaklar dünya çapında eşit olarak dağılmasına rağmen insan aktiviteleri sonucu oluşan kirletici kaynaklar, nüfusun yoğun olduğu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Atmosfere karışan NO gazının yaklaşık %80'i doğal kaynaklardan %20'si de yapay kaynaklardan gelmektedir (Peavy, 1985). Kentsel alanlardaki NO₂'nin ana kaynağı, motorlu taşıtlardır. Bu nedenle şehir merkezlerinde ve ana yollara yakın yerlerde en yüksek derişimlerde bulunmaktadır. Öte yandan elektrik üretimi, fabrikaların ısıtılması ve endüstriyel süreçlerle de NO₂ oluşabilmektedir.

Başta nitrik asit, sülfürik asit ve naylon üretimi ve termik santraller olmak üzere, birçok sanayi tesisinden ortama salınmaktadır. Ayrıca benzin ve yağ sanayisinin yan ürünlerini oluşturmaktadır. Evsel ısınma da kullanılan doğalgazdan da yüksek oranlarda oluşmaktadır. NO ve NO₂ arasında gerçekleşen dönüşümler, fotokimyasal duman oluşumunun temelini oluşturmaktadır (Boubel ve ark., 1994).

2.1.2.1. Azot oksitlerin atmosferdeki dönüşüm reaksiyonları ve fotokimyasal duman oluşumu

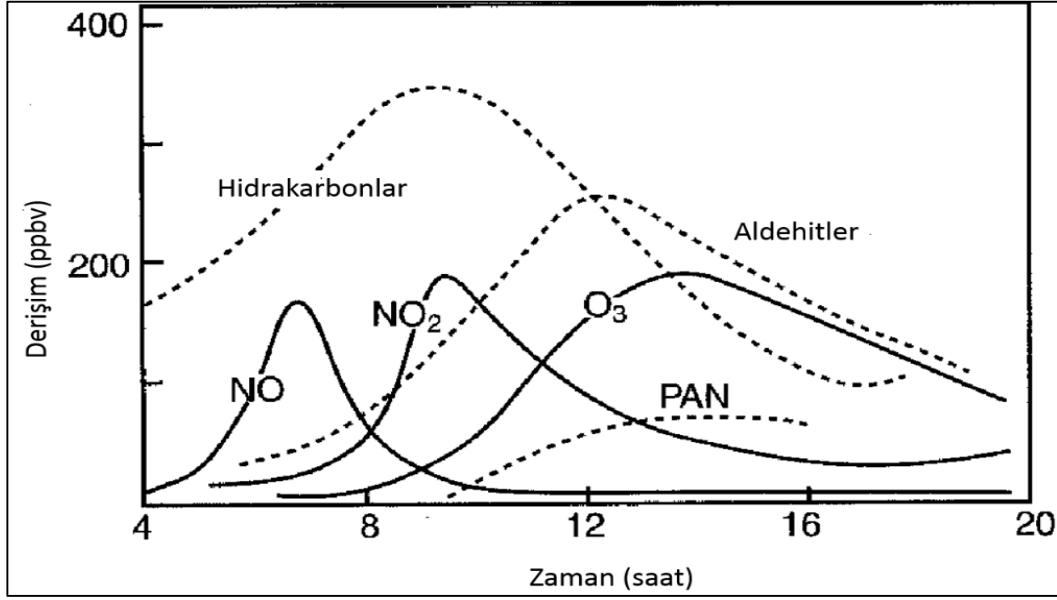
Azot bileşikleri arasında meydana gelen reaksiyonların anlaşılması oldukça önemlidir. Meydana gelen redoks reaksiyonları, doğada bulunan azot bileşiklerinin sınıflandırılmasında önemli bir yere sahiptir ve bu reaksiyonların gerçekleşmesinde güneş ışıkları önemli bir rol oynamaktadır. Birçok azot bileşimini içeren azot döngüsü Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Azot bileşikleri arasında atmosferde gerçekleşen azot döngüsü (Özden, 2005)

Azot oksitlerin atmosferdeki dönüşümleri, ozon ve diğer oksitleyicilerin oluşum veya tüketimine dayalı karmaşık reaksiyonlar ile gerçekleşmektedir. Atmosferin daha düşük katmanlarında baskın olarak bulunan NO, NO₂, HNO₃ gibi oksitlenmiş azot bileşiklerinin atmosferik derişimleri güneş ışığı şiddeti, sıcaklık,

kirletici emisyonları ve bu emisyonların oluşumundan itibaren geçen süre vb. parametrelere bağlı olarak değişebilmektedir (Rani ve ark., 2011). NO kirleticisinin günlük süreç içerisinde fotokimyasal yükseltgenmesi Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. NO'nun günlük süreç içerisinde fotokimyasal yükseltgenmesi (Kanaya ve ark., 2007)

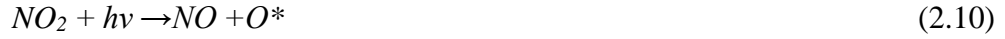
Yakma prosesleri sonucu yüksek oranlarda açığa çıkan NO'nun troposferdeki ortalama kalış süresi yalnızca dakikalar bazen de saniyeler mertebesinde olup atmosferik oksijen ile reaksiyona girmektedir (Denklem 2.8).



Düşük NO derişimlerinde bu tepkime yavaş gerçekleşmektedir ve $NO > 1$ ppm derişimlerinde daha fazla önem kazanmaktadır. Derişim değerleri 1 ppm'in altında olduğu durumda ise, NO'nun NO₂'ye oksitlenmesi iki farklı yolla gerçekleşebilmektedir. 2.9–2.11 numaralı reaksiyonlar, NO'nun NO₂'ye oksitlendiği bir mekanizmayı göstermektedir.



Ozon, 2.10 ve 2.11 numaralı reaksiyonlara göre güneş ışığı varlığında NO₂'nin fotolizi sonucu oluşmaktadır.



NO'nun NO₂'ye oksitlendiği diğerk bir reaksiyonda ise organik bileşikler yer almaktadır. Atmosferdeki organik bileşikler, UOB (uçucu organik bileşikler), ROC (reaktif organik karbon) ve NMHC (metan içermeyen hidrokarbonlar) olarak sınıflandırılabilir. Kentsel bölgeler, özellikle azot oksitler ve ROC kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Bu bileşiklerin varlığında ve uygun atmosferik koşulların bulunduğu durumlarda fotokimyasal duman oluşumu gerçekleşmektedir (Rani ve ark., 2011). Duman oluşumunu sağlayan reaksiyonlar, serbest radikallerin oluşumuna neden olan fotolitik reaksiyonlar ile başlamaktadır. Ozonun fotolizi 2.12 numaralı reaksiyona göre gerçekleşmektedir (Graham ve ark., 1997).



O*, uyarılmış oksijen atomudur ve su ile reaksiyonu sonucu hidroksil radikali oluşmaktadır (2.13).



2.1.2.2. Azot oksitlerin insan sağlığı, bitkiler ve materyaller üzerine etkisi:

NO₂, burun ve boğazı tahriş eden, akciğerlerdeki alveollerde tahrişe yol açan kötü kokulu bir gazdır. Solunum yolu ile alınarak hemoglobini bağlar ve kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır. Akut ve yüksek derişimlere maruziyetlerde, karbon monoksit zehirlenmesine benzer bir etki gösterirler (Akdur ve ark., 1998). Havadaki derişimi 10 ppm'in üzerinde çıkınca gözde ve mukozada yanmalar meydana gelmektedir. Hayvanlar üzerinde yapılan denemelerde derişimin artmasıyla ölüme götüren zehirlenmeler meydana geldiği ve 100 ppm'de ise çok kısa zamanda ölümlerin meydana geldiği tespit edilmiştir (Graham ve ark., 1997). Fotokimyasal duman yaparak görme alanı daralması ve trafik kazaları gibi sağlık sakıncaları doğurmaktadır. (Akdur ve ark., 1998).

Azot oksitlerin bitkiler üzerindeki etkisi ise bitki dokularının beyazlaşması veya ölmesi, yaprakların dökülmesi, büyüme hızını ve üretim verimini düşürmesi, ışık yoğunluğu, sıcaklık vb. dış faktörlere karşı hassasiyeti artırması şeklinde gerçekleşmektedir. NO₂'nin, tekstil boyaları ile gerçekleştirdiği reaksiyon, kumaşların solmasına veya sararmasına neden olmaktadır (Özden, 2005).

2.1.3. Ozon (O₃)

Üç oksijen atomunun bir araya gelerek oluşturduğu bir çeşit moleküler oksijen olup yüksek kimyasal reaktivlik özelliği taşıyan kuvvetli bir oksitleyicidir. Atmosferik reaksiyonlar sonucu troposferde oluşan ikincil bir kirletici olma özelliği de göstermektedir (Yay, 2006). Troposferde kirletici olarak bulunan ozon direkt olarak oluşmamakta, endotermik bir olay olup meydana gelmesi için enerjiye ihtiyaç duymaktadır (Özden, 2005). Güneş ışığının da etkisiyle gerçekleşen ve zincirleme reaksiyonlarla devam eden fotokimyasal bir süreçle troposferde ozon oluşumu gerçekleşmektedir. Troposferik O₃ derişimleri güneşlenme şiddetine (Watt/m²) yüksek oranda bağımlıdır. Uçucu organik bileşikler ve azot oksitler arasında gerçekleşen ve O₃ oluşumuyla sonuçlanan tepkimelerin gerçekleşmesi için gerekli aktivasyon enerjisi büyük ölçüde güneş radyasyonunda sağlanmaktadır. Reaksiyonların gerçekleşmesini sağlayan ya da hızlandıran etken güneş ışığı olduğundan, yaz aylarında bu sorun daha belirgin hale gelmektedir (Yay, 2006; Ertürk, 2014).

Bugün için bilinen bir gerçek, troposferik ozon oluşumuna neden olan en önemli birincil kirleticilerin NO_x (Bkz. Denklem 2.6) ve UOB'ler olduğudur (Yay, 2006).

2.1.3.1. Stratosferik ozon

Stratosferin 35 km civarı ozonun en çok yoğunlaştığı tabaka olarak bilinmekte olup %95'i stratosfer tabakasında yer almaktadır. En önemli işlevi güneşten gelen ve güneş enerjisinin %9'unu oluşturan ultraviyole ışınları soğurmasıdır. Ozonun, ozon tabakası tarafından tutulmasıyla bu ışınların sadece %2-4 oranlarının yeryüzüne ulaşması sağlanmaktadır. Fakat stratosferik ozon

tabakası insan aktiviteleriyle bırakılan gazlar ve bileşenlerin ozonla reaksiyona girmesiyle azalmaktadır (Korkmaz, 2000).

Atmosferik ozonun yaklaşık %10'unu troposferik ozon oluşturmaktadır. Stroposferik ozon tabakası incelirken troposferdeki ozon miktarı artış göstermektedir. Troposferik ozon ölçümlerinde, ozon derişiminin sabahın erken saatlerinde ve gün doğmadan önce minimum, öğlen ve öğleden sonraki saatlerde maksimum olduğu, akşam saatlerinde ise tekrar düşüşe geçtiği saptanmıştır (Korkmaz, 2000). Mevsimsel çevrimde ise yaz aylarında yıl içine oranla yüksek (peak) değerlere çıkmaktadır (Ertürk, 2014).

Son 30 yıl içerisinde antropojenik kaynaklardan atmosfere salınan bileşenlerin, stratosferdeki ozon seviyelerini ciddi oranda azaltırken, troposferik ozon seviyelerini artırdığı bilinmektedir (Seinfeld ve Pandis, 1998). Stratosferik ozon, zararlı ultraviyole ısınlarını soğurma özelliğinden dolayı ortamda olması istenen bir bileşendir, ancak troposferik ozon, özellikle insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı istenmeyen bir bileşendir. Bu nedenle stratosferik ozon “iyi” ve troposferik ozon “kötü” ozon olarak nitelendirilmektedir (Özden, 2005).

Stratosfer kimyası, stratosferdeki ozon miktarını etkileyen bir takım kimyasal süreçleri içermektedir. Stratosferde ozonun oluşumu ve tüketilmesi “Chapman” döngüsü içerisinde gerçekleşmektedir. Chapman döngüsü, atmosferdeki ozon dengesinin kimyasal açıklamasını ortaya koymaktadır (Seinfeld ve Pandis, 1998). Bu döngüye göre; oksijen (O_2) molekülü, güneş ışığının bulunduğu durumlarda yüksek enerjili ultraviyole fotonları tarafından bozunarak 2.14 numaralı reaksiyona göre oksijen atomlarını oluşturmaktadır (Özden, 2005; Rani ve ark., 2011).



Reaksiyonda yer alan h Planck sabiti; c ışık hızı ve λ ise fotonun dalga boyudur ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Oluşan oksijen atomları çok fazla reaktif olduklarından dolayı, oksijen molekülleri ile reaksiyona girerek 2.15 numaralı reaksiyona göre ozon oluşumuna neden olmaktadır(Rani ve ark., 2011).



Reaksiyonda yer alan M , reaksiyonun gerçekleşmesine yardımcı olan diğer molekülleri ifade etmektedir. Oluşan ozon ise ultraviyole ışınlarını soğurarak 2.16 numaralı reaksiyona göre serbest oksijenin oluşmasına neden olmaktadır (Seinfeld ve Pandis, 1998; Özden, 2005)



Atomik oksijenin atmosferde kalma süresinin bir saniyeden daha kısa olması ve 150–300 nm dalga boyuna sahip güneş ışınlarının %97–99 oranında oksijen ve ozon molekülleri tarafından soğurması nedeniyle yukarıda verilen reaksiyonlar çok hızlı gerçekleşmektedir (Seinfeld ve Pandis, 1998). Ozonun tüketilmesi hidrojen atomları, hidroksil radikalleri, NO, klor ve brom bileşikleri ile gerçekleşen katalitik reaksiyonlar sonucu gerçekleşmektedir. Katalitik reaksiyonda, katalizör kimyasalın bir molü ile kaynak kimyasal, tükeninceye kadar reaksiyona girmektedir.

2.1.3.2. Troposferik ozon

Troposfer, meteorolojik olayların gözlemlendiği ve sıcaklığın yükseklikle birlikte azaldığı bir tabakadır. Sıcaklığın yükseklikle azalmasının sebebi, yer yüzeyinin güneş radyasyonunu soğurması ve radyasyonun yerden tekrar yayılmasıdır (İncecik, 1994). Bu aktif bölge, atmosfer kütlelerinin %80'ini oluşturmaktadır. Bu nedenle troposfer meteorolojik olayların en önemli tabakası olarak bilinmektedir (Ertürk, 2014).

Ozon, yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği gibi başta NO_x ve UOB bileşikleri reaksiyonları olmak üzere, CO, H_2O ve OH radikallerinin çeşitli reaksiyonları sonucu ikincil olarak oluşan bir kirleticidir. Troposferik ozonun başlıca oluşum yolları, aşağıda sıralanabilmektedir (Özden, 2005):

- Stratosferik ozonun özellikle gök gürültüsü ve fırtınalı günlerde troposfere geçmesi,
- Kentsel hava kirliliğinin yüksek olduğu durumlar,
- Şimşek çakması durumlarıdır.

Şimşek çakması durumunda, ortaya yüksek enerji çıkmakta olup oksijen ve su buharının hidrosit radikallerine dönüşmesine yol açmaktadır. Bu radikaller de çok kısa bir sürede troposferdeki oksijen molekülleriyle birleşerek ozon oluşturabilmektedirler.

“Kötü ozon” olarak adlandırılan hava kirliliği kaynaklı ozon ise taşıtlardan, gaz buharından, fosil yakıt kullanılan enerji tesislerinden, rafinerilerden ve bazı kaynaklardan atmosfere verilen NO_x ve UOB’ler arasında güneş ışığı varlığında gerçekleşen fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır. Bu reaksiyonların UOB’lere bağlı olarak uzun sürede oluşması ve ozonun atmosferde birkaç gün süre kalabilmesi nedeniyle herhangi bir bölgede ölçülen ozon, çok uzakta yer alan başka bir bölgede salınan UOB’ler veya NO_x nedeni ile meydana gelebilmektedir (AD-HOC, 1999).

Ozon ve fotokimyasal tepkimeler ile oluşan diğer ikincil kirleticilerin çok karmaşık bir yapıda olduğu bilindiğinden, 2.1.2 başlığı altında yer alan, azot oksitlerin atmosferdeki dönüşüm reaksiyonları ve fotokimyasal duman oluşumu başlığı altında da açıklanan reaksiyonlar ile ozonun NO_x ve UOB ile olan ilişkisi basit olarak aşağıda da özetlenmiştir. NO_x ve O_3 oluşumu arasındaki ilişki 2.9 numaralı denklemdeki gibi gerçekleşir:

2.10 numaralı denklemde yer alan $h\nu$, reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli ve güneş ışığı tarafından sağlanan uygun dalga boyundaki fotonun enerjisidir. 2.17 reaksiyonuyla oluşan tek atomlu oksijen daha sonra, aşağıdaki reaksiyonla ozon oluşumuna neden olur:



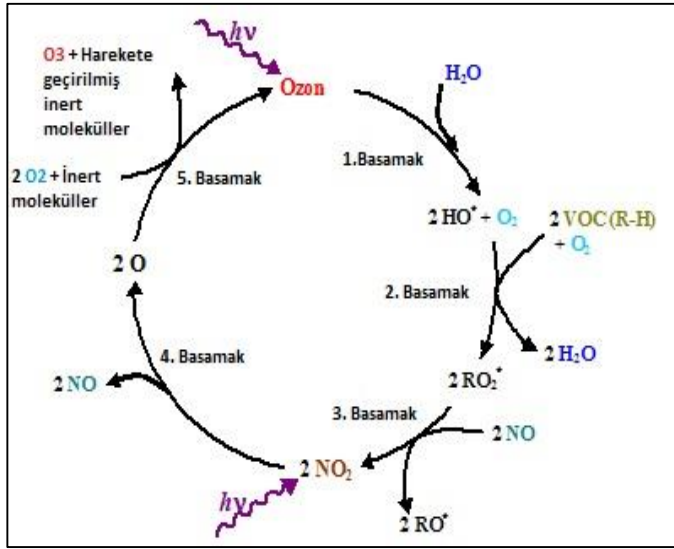
Burada M , yüksek enerjili O atomundan dolayı açığa çıkan fazla enerjiyi uzaklaştıran başka bir molekül (genellikle N_2 ya da O_2) ya da bu tepkimenin oluşmasına olanak sağlayan bir aerosol yüzeyidir.

Yukarıdaki reaksiyonlarda, ozon oluşmakla birlikte, ortamdaki NO’nun bir kısmı da NO_2 ’ye yükseltgenme sırasında ozonun harcanmasını sağlamaktadır:



2.18 denkleminde yer alan reaksiyon ile O_3 , NO ve NO_2 arasında bir denge oluşmaktadır.

Yukarıdaki tepkimelerin UOB'lerin varlığı olmadan gerçekleştiğine dikkat edilmelidir. UOB'lerin varlığı durumunda, ozonun harcanmasını sağlayan (2.18) tepkimesi yerine, NO 'nun bir kısmının NO_2 'ye dönüşümü UOB'lerin etkisiyle gerçekleşir. Bu durumda ise NO ile tepkimeye giremeyen O_3 birikmeye başlamaktadır. Oluşacak tepkimeler, UOB'nin türü ve yapısına göre farklılıklar göstermektedir. Yukarıda bahsedilen ozon tepkimelerine ait evrensel ozon döngüsü Şekil 2.5'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Ozon bileşikleri arasında atmosferde gerçekleşen ozon döngüsü (Wuebbles, 2008)

Görüldüğü gibi, ozon seviyelerini belirleyen en önemli atmosferik bileşenler azot oksitleri ile uçucu organik bileşiklerdir. Bu bileşen gruplarının atmosferik derişimlerinin oranı, ozon oluşumunun anlaşılması ve ozon azaltılmasına yönelik çalışmaların izleyeceği yol açısından önemlidir. Şehir atmosferinde, çoğunlukla, NO_x emisyonları daha yüksektir. Bu durumda, UOB emisyonlarının NO 'nun yükseltgenmesi sürecine girişimi belli bir süre sonra etkisini yitirecek ve NO_x 'ler ile ozon arasında bir denge konumuna yaklaşılacaktır. Bu durum, UOB-limitli rejim olarak tanımlanır çünkü UOB emisyonlarındaki herhangi bir değişiklik, bahsedilen NO_x - O_3 dengesini etkilemeye başlayacaktır. NO_x emisyonları çoğunlukla antropojenik etkinliklere bağlı olduğundan,

şehirlerden uzaklaştıkça NO_x/UOB oranı düşmeye başlar ve bu rejim ise NO_x-limitli olarak tanımlanır. Böylesi bir rejimde UOB miktarındaki artışın ozon seviyelerine etkisi çok düşükken, NO_x seviyelerindeki bir artış, ozonda da önemli oranda artışa neden olacaktır. UOB limitli rejimlerde de bunun tersi geçerlidir.

2.1.3.3. Ozonun insan sağlığı, bitkiler, materyaller ve sera gazları üzerindeki etkileri

Ozon, reaktif ve tahriş edici özelliğe sahip olmasının yanı sıra solunduğu zaman solunum problemlerine yol açan, vücudun bağışıklık sistemine zarar vererek bronşit vb. solunum hastalıklarına karşı hassasiyeti artıran, astım hastalığının daha da kötüleşmesine neden olan bir yapıya sahiptir. Özellikle sağlıklı yetişkinlerde akciğerlerin solunum kapasitesini %15–20 oranında düşüren ve akciğer dokularına zarar veren önemli bir bileşendir (Özden, 2005).

Hayvanların 400 µg/m³ üzerindeki ozon derişimlerine 2-3 saat maruz kalmaları sonucunda, solunum hızlarında ve solunum yolları hassasiyetlerinde artma gibi etkiler görülmektedir. 400 µg/m³'ün altındaki seviyelerde ise akciğer enfeksiyonları, iltihaplanma, enzim aktivitesinin artması gibi rahatsızlıklar oluşabilmektedir (AD-HOC, 1999).

Ozonun bitkiler üzerindeki etkileri genel olarak üretim ve besin saklama kapasitesini düşürerek gelişmeyi engellemek, özellikle hassas bitkilerde hastalıklara, haşerelere ve çevresel etkilere karşı hassasiyeti artırmak şeklinde sıralanabilir (Yay, 2006). Yüksek ozon derişimleri nekroz adı verilen yaprak dokusundaki bozulmalara ve klorosis adı verilen klorofil kaybından ileri gelen beyazlamalara neden olmaktadır. Ozonun (ppm) mertebesiyle havada bulunmasıyla özellikle duyarlı türler olan domates, tütün, fasulye, ıspanak ve patates bitkilerinin yapraklarında bu lekeler 1-2 saatte ortaya çıkabilmektedir (Müezzinoğlu, 2002; Ertürk, 2014).

Ozonun organik maddeler üzerinde önemli etkileri olmaktadır. Kauçuk malzemenin parçalaması, boyalı yüzeylerde renk solması, kumaşların dayanıklılığının azalması ozonun malzemeler üzerindeki etkilerindendir (Müezzinoğlu, 2002).

Troposferik ozon, üçüncü önemli sera gazı olarak bilinmekte ve dünyaya ulaşan güneş radyasyonunu soğurarak, atmosferin alt katmanlarının ısınmasına neden olmaktadır. Troposferik ozon miktarındaki artış toplam sera etkisinin %20 oranında artmasına neden olmaktadır (Özden, 2005).

2.2. Hava Kalitesi ile ilgili Mevzuat ve Sınır Değerlerin Ortaya Konulması

Hava kirliliği 1970'li yılların sonlarından itibaren dünyanın ve dolayısıyla Avrupa'nın temel sorunlarından biri haline gelmiştir. Geçmişte, şehirlerde sıklıkla yaşanan fotokimyasal duman (smog) olayları yaşamı zorlaştıran önemli bir çevre olayı olarak kabul edilmekteydi. Bundan dolayı hava kirliliği, Avrupa ülkelerinin çevre politikalarını belirlerken temel öneme sahip bir konu olmuştur. AB ülkelerinin hava kirliliği ile ilgili temel politikası hava kalitesini yükseltmek için uygun ekonomik araçların bulunması ve geliştirilme çabalarıdır. (Derilioğlu, 2007). Bu kapsamda, hava kalitesi yönetimi konusunda Türkiye için, büyük oranda Avrupa Birliği mevzuatı ile uyumlu olan Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) hazırlanmıştır. Bu mevzuat ve yönetmeliklere aşağıda açıklamalı ve karşılaştırılmalı bir şekilde değinilecektir.

2.2.1. Hava kalitesi ile ilgili Türkiye mevzuatı

Türkiye'de hava kirliliği ve kontrolü hususunda ilgili başlıca kanun Çevre Kanunu'dur ve hava kalitesi yönetimi ile ilgili öncelikli mevzuat aracı HKDYY'dir. İlgili kanunlar ve yönetmelikler son yıllarda AB uyum çerçevesinde gözden geçirilmektedirler.

HKDYY'nin amacı, hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak için hava kalitesi hedeflerini tanımlamak ve oluşturmak, tanımlanmış metotları ve kriterleri esas alarak hava kalitesini değerlendirmek, hava kalitesinin iyi olduğu yerlerde mevcut durumu korumak ve diğer durumlarda iyileştirmek, hava kalitesi ile ilgili yeterli bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamaktır (HKDYY, 2008).

HKDY Yönetmeliğinin yanı sıra dolaylı olarak da olsa hava kalitesi ile ilgili maddeleri olması açısından;

- Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
 - Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
 - Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği,
 - Petrol Ürünleri Depolama Tankları Alanları Güvenliği Yönetmeliği,
 - Yakıt Satışları ve Servis istasyonları Genel Yönetmeliği,
 - Dizel ve Sıvı Yakıt Depolama Tankları Yönetmeliği,
- Türkiye çevre mevzuatında yer almaktadır.

Bunların yanı sıra uluslararası ölçekte kabul gören hava kalitesi ve kirlilik kontrolü ile ilgili Montreal Protokolü ve Hava Kirleticilerinin Uzun Menzilli Taşınımı sözleşmeleri yaptırımları da geçerlidir (Derilioğlu, 2007).

2.2.2. Türkiye-AB mevzuat uyumu ve hedefler

Hava kalitesi ve kontrolü hususunda Avrupa Birliğinde sayılan 11 ana başlık altında verilen konulara yönetmelikler bazında uyum sağlanmaktadır. Genel anlamda bu konuda ilgili direktiflere göre Türk Çevre Mevzuatının uyumunu sağlamada sorumlu kuruluş Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'dır. Bakanlığın son yıllarda yapmış olduğu çalışmalar neticesinde hava kalitesi konusunda öncelikli uyum gerektiren Hava Kalitesi Çerçeve çalışması tamamlanmış olup yeni birçok yönetmelik Türkiye çevre mevzuatına katılmıştır (Derilioğlu, 2007). Eksik olan konularda AB mevzuatı kapsamında mevcut yönetmelikler ve ilgili kanunlar irdelenerek, gerekli teknik düzenlemelerin yapılması ve henüz mevcut olmayan yönetmeliklerin hazırlanması gerekmektedir.

2.2.3. SO₂, NO_x ve O₃ için sınır değerler, değerlendirme ve uyarı eşikleri

Hava kalitesi sınır değerleri insan sağlığının korunması, çevrede, kısa ve uzun vadeli olumsuz etkilerin ortaya çıkmaması için atmosferdeki hava kirleticilerinin, bir arada bulduklarında, değişen zararlı etkileri de göz önüne alınarak tespit edilmiş derişim birimleriyle ifade edilen seviyelerdir (Doğru, 2007).

Ulusal ve uluslararası ölçekte azot oksit, kükürt oksit, ozon vb. bileşenler için hava kalitesi sınır değerlerinin belirlenmesinin temel amacı insan sağlığının korunmasıdır. HKDYY ve bazı ülkelerde bitki örtüsü, sazlık alanlar vb. doğal

ekosistemlerin korunmasına yönelik olarak da azot oksitler için belirlenmiş sınır değerler bulunmaktadır. Çalışma da ölçülecek olan SO₂, NO_x ve O₃ kirleticilerine ait bilgiler tez içerisinde yer alan Ek-1, Ek-2 ve Ek-3'de gösterilmiştir.

Eklerde yer alan limit değerlere göre, sonuçlar başlığı altında yer alan her iki istasyondaki aktif ölçüm verileri ile çeşitli değerlendirmeler ve açıklamalar yapılmıştır.

2.3. Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri

Atmosferde bulunan kirletici bileşenlerinin hangi bölgelerde daha yoğun bulunduğu ve kirliliğe sebep olduklarının belirlenmesi hava kalitesi çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu noktada, mümkün olduğu kadar sık periyotlarda ve çok noktada hava kalitesi izleme çalışmalarının gerçekleştirilmesi oldukça önemlidir.

Hava kalitesi izlenmesinde yaygın olarak kullanılan metotlar aşağıdaki gibidir (Nevers, 2000):

- Pasif örnekleme,
- Aktif örnekleme,
- Otomatik ölçüm,
- Uzaktan algılayıcılar ve
- Biyo-indikatörler.

Bu metotlarda, uzaktan algılama ve biyo-indikatör ile hava kalitesi izleme metotları araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmamakta olup dünyanın farklı ülkelerinde çeşitli örneklerine rastlanmaktadır (Al Sayegh Petkovšek ve ark., 2008). Bu tez çalışmasında, hava kalitesi ölçümleri otomatik ölçüm ve pasif örnekleme ile yapıldığından yalnızca bu başlık irdelenmiş olup Bölüm 4.6.'da açıklamaları yapılmıştır.

Çalışmada ölçülen, SO₂, NO_x ve O₃ kirleticilerine ait farklı örnekleme ve ölçüm metotları tezde sırasıyla Ek-4, Ek-5 ve Ek-6'da gösterilmiştir.

2.4. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Metodolojileri (AHP ve ELECTRE)

Karar verme, hedef ve amaçların gerçekleştirilmesi yönünde alternatif eylem planlarından birini seçme sürecidir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). ÇÖKV yöntemleri ise, farklı alternatiflerin seçimi, sınıflandırılması ve sıralanması için çeşitli değerlendirme ölçütlerini kullanan dinamik araştırma yöntemleridir. ÇÖKV tekniklerinden birkaçı: Analitik Serim Prosesi (ANP), AHP, ELECTRE ve PROMETHEE'dir. ÇÖKV yöntemlerinde amaç, farklı alternatifleri kıyaslayacak farklı boyutlardaki verilerin toplanmasıdır. Çalışmada görev alan analizci, öncelikli olarak hedefini gerçekleştirmeye yönelik ölçütleri belirlemelidir. Daha sonra alternatiflerin ölçütlere uygunluğu saptanmalıdır. Karar verme ve planlama kavramları, amaç, hedef ve stratejilerin, bir sistem anlayışı içerisinde bütünleşik bir şekilde algılanmasını gerektirmektedir. Hedefler, izlenecek yollar, bilgi kaynakları, bilgi-işlem teknikleri vb. koşullar değiştikçe her bir duruma uygun karar vermek amacıyla kullanılan çeşitli yöntem, analiz ve teknikler de değişmektedir (Özkan, 2008).

Karar vermede birbirleriyle mantıksal bağıntıları bulunan, fakat birbirlerinden ayrı kabul edilen birtakım alt sistemlerin ele alınması ve planlanması durumunda, her bir alt sistem hedeflerinin, asıl sisteme ilişkin hedeflerle tutarlı olması, yani esnek olmayan hedeflerle aynı doğrultuda olması gerekir. Bu durumda tutarlılıktan söz edilebilir ve bu amaçla kullanılan yöntemlere de Tutarlılık Amaçlı Yöntemler denilir. Buna karşılık, tutarlılığın söz konusu olmadığı, onun yerine ulaşılabilir ve uygun hedeflerin söz konusu olduğu planlama yöntemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemlere de Optimizasyon Amaçlı Yöntemler denir (Özkan, 2008). Çalışmada kullanılan metotlar ise; birbirleriyle mantıksal bağlantıları bulunan tutarlılık amaçlı yöntemlerdir.

2.4.1. AHP

1970'lerde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP metodu, birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir. AHP, karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi,

kriterleri, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak vermektedir. AHP'nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir. Bir diğer ifade ile AHP, bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir (Kuruüzüm ve Atsan, 2001). AHP çok geniş bir uygulama alanına sahip olup pek çok karar probleminde etkin olarak kullanılmaktadır (Kulaç, 2006; Zafarani ve ark., 2014).

AHP yöntemi, karmaşık bir karar verme problemini hiyerarşik bir ağaç haline getirerek çözmeye yarayan çok amaçlı analitik bir araçtır. AHP algoritması dört aşamadan oluşmaktadır:

- Karar probleminin hiyerarşik yapısının kurulması,
- Tercih edilen bilginin tanımlanması (göreceli ağırlıklandırma),
- Mutlak ağırlıkların hesaplanması,
- tutarlılık analizi ve son sıralamanın gerçekleştirilmesi.

Tüm değişkenler kendi özelliklerine göre sıralanmaktadır (Zak, 2005).

AHP yönteminde, ikili karşılaştırmalar 1-9 arasında değişen puanlar ile sınıflandırma ve her bir kriter için karşılıklı matris ile yapılmakta ve bunun sonucunda alternatifler elde edilmektedir. Örneğin, üç kriterle sahip bir problem ile ilgili, 3x3'lük karşılıklı bir matris elde edilmekte olup sonrasında karşılıklı matrisin her bir sütununun toplamı alınmaktadır. Daha sonra normalize edilmiş puanı elde etmek için sütunda yer alan her bir giriş, sütun toplamına bölünmektedir. Her bir satırın toplamı 1'e eşittir. Bu nedenle, normalize edilmiş temel öz vektör, satırların ortalaması alınarak elde edilebilmektedir. Normalize edilmiş temel öz vektör aynı zamanda öncelik vektörü olarak da isimlendirilmektedir. Sonuç olarak öncelik vektörü ve kriterlerin ağırlıklandırılmaları sonuç sıralaması için birbiriyle çarpılmaktadır.

2.4.2. ELECTRE

Optimizasyon amaçlı matematiksel programlama tekniklerinden olan ELECTRE tekniği, ELECTRE I, II, III ve IV teknikleri olarak bilinmektedir. Bu

yöntem, alternatiflerin tercih sıralamasına göre birbirleriyle kıyaslanarak seçim yapılması temeline oturtulmuştur (Özkan, 2008).

Bu tekniğin gereği olarak bir başlangıç tablosundan hareket edilir. Bu tabloda, sütunlar seçeneklere (alternatiflere), satırlar ise ölçütlere ayrılır. Diğer yandan her ölçüte, diğerlerine nazaran taşıdığı önemi yansıtacak şekilde ağırlık verilir. İkinci aşamada, alternatiflerin karşılaştırmasına olanak veren uyumluluk ve uyumsuzluk matrisleri oluşturulur. Üçüncü aşamada; uyumluluk ve uyumsuzluk matrisleri için belirlenen eşik değerlerine göre bu iki tablo, sonuç değerlendirme tablosunda birleştirilir ve en uygun alternatif belirlenir (Özkan, 2008).

ELECTRE III yöntemi, kıyaslama ilişkisine göre çözümlene yapan çok amaçlı sıralama yöntemlerinden bir tanesidir. ELECTRE III yönteminde, kayıtsızlık, zayıf tercih, güçlü tercih ve mukayese aşamaları karar vericilerin genişletilmiş modeli için kullanılmaktadır. Örneğin, belirli bir kriter üzerindeki f (a) ve f (b) ile bunların değerlendirmeleri arasındaki fark çok küçük ise karar vericiler değişkenler arasında herhangi bir ayırım yapamaz ve sonuç olarak a ve b değişkenleri kayıtsız kabul edilmektedir. Buna ek olarak, belirli bir kriter üzerindeki f (a) ve f (b) ile bunların değerlendirmeler arasındaki fark, karar vericilere göre önemli derecede büyük ise a değişkenini b değişkenine baskın bir şekilde tercih ettikleri sonucuna varılmaktadır (Fierek ve Zak, 2012). ELECTRE algoritması dört aşamadan oluşmaktadır:

- Performans matrisinin oluşturulması (alternatif ve kriterler),
- Kriter ağırlıklandırılmalarının ve eşik değerlerinin belirlenmesi,
- Güvenilirlik ve uyum matrisinin hesaplanması,
- Son sıralama

Performans değerlerinin belirlenmesinden sonra ağırlıklandırmalar ve eşik değerleri elde edilmektedir. Uyum matrisi $[C(a, b)]$ her bir alternatif çifti için ayrı ayrı hesaplanmakta olup uyum matrisi 0 ile 1 arasında değişiklik göstermektedir. “a” alternatifinin 1’e eşit olduğu durumlar, tüm kriterler için “a” alternatifinin “b” alternatifinden daha iyi olduğunu göstermektedir. “a” alternatifinin 0’a eşit olduğu durumlar ise, “a” alternatifinin “b” alternatifinden daha kötü olduğunu göstermektedir. Bu indeks, her bir kriter üzerindeki performansların ağırlıklı

karşılaştırmasına dayalı olarak hesaplanmakta olup Denklem (2.19)'da gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$C(a, b) = \frac{1}{W} + \sum_{j=1}^n w_j c_j(a, b) \quad W = \sum_{j=1}^n w_j \quad (2.19)$$

w_j ($j=1, \dots, n$) her bir kriterin ağırlıklandırmasını göstermektedir. Uyum endekslerinin tümü, “a” alternatifinin en az “b” alternatifi kadar iyi olduğu savının şiddetini ölçen uyumluluk matrisini oluşturmaktadır. Her kriter için oluşturulan ve her bir karşılaştırma dizini olan $c_j(a, b)$, Denklem (2.20)'de olduğu gibi formüle edilmiştir:

$$C_j(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } g_j(a) + q_j \geq g_j(b) \\ 0, & \text{eğer } g_j(a) + p_j \leq g_j(b), j = 1, 2, \dots, r \\ \frac{p_j + g_j(a) - g_j(b)}{p_j - q_j}, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (2.20)$$

q_j ve p_j değerleri sırasıyla, j kriteri üzerindeki kayıtsızlık ve tercih eşiklerini belirtmek için kullanılmakta olup, $g_j(a)$ ve $g_j(b)$ değerleri, a ve b alternatiflerinin j 'nci kriteri için yapılan değerlendirmelerini belirtmektedir.

Tüm bu bilgiler ışığında, hava kalitesi izleme istasyonlarının yer seçim aşaması, hava kalitesinin belirlenmesi çalışmalarında çok önemli bir yere sahiptir. Emisyon kaynaklarından gelen kirleticilerin etkisini doğru ve anlamlı bir şekilde gözlemlemek için bu sürece dikkat edilmelidir. Günümüze kadar bu yer seçim işlemi, hava kalitesi uzmanları ve yerel yöneticiler tarafından oluşturulan ekiplerle herhangi bir metodolojik yaklaşım kullanılmadan gerçekleştirilmekte idi. ÇÖKV yöntemleri, uygulanan geleneksel yer seçim yöntemlerine alternatif olarak, belirlenen teknik, ekonomik ve sosyal kriterler göz önüne alınarak, kurulması planlanan hava kalitesi istasyon noktalarına karar verilmesine ve daha sağlıklı sonuçlar elde edilmesine imkan tanıyacaktır.

ÇÖKV yöntemleri birçok karar verme probleminde olduğu gibi önemli ölçüde çevre çalışmalarında da kullanılmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar tarandığında karar verme tekniklerinin kullanıldığı farklı çalışmalara rastlanmaktadır. Eskişehir'de katı atık depolama alan alternatiflerinin

değerlendirilmesi (Acar ve ark., 2003), ANP ve ELECTRE III tekniklerini kullanarak en uygun geri dönüşüm sisteminin seçilmesi (Banar ve ark., 2010), katı atık yönetim sistemlerine ELECTRE III metodunun uygulanması (Ozkan ve ark., 2011), yer altı suyu iyileştirme teknolojilerinin seçimi için web-tabanlı karar destek seçeneğinin kullanılması (Khalifi ve ark., 2006) ve Bor şehrindeki bakır dökümhanesi yakınında yer alan kentsel bölgedeki SO₂ ve PM₁₀ kirliliğinin Çok Ölçütlü Karar Verme analizleri ile araştırılması (Djordje ve ark., 2010) isimli araştırmalar ÇÖKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar arasında yer almaktadır.

Hava kalitesi izleme istasyonu yer seçiminde literatürde farklı yöntemlerle yapılmış çalışmalara da rastlanmaktadır. Bazı araştırmacılar, uzman görüşlerinin katkısı eklendiğinde, ANP, AHP ve ELECTRE yaklaşımları gibi farklı birçok ÇÖKV tekniğinin uygulanmasında daha başarılı sonuçlar elde edildiğini savunmaktadır (Tran ve ark., 2004; Kone ve Buke, 2007; Ozkan, 2013). Kimbrough ve ark. (2008) her bir potansiyel alanının seçimine ilişkin destekleyici bilgilerini geliştirmenin bir aracı olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veri, araç ve tekniklerini kullanmışlar ve aynı zamanda proje ekibi üyeleri tarafından yerinde ziyaretler gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte bazı araştırmacılar hava kalitesi izleme istasyonu yer seçiminde farklı yaklaşımlar da kullanmışlardır. Bunlardan birkaç tanesi; maksimum kirlilik derişimi kriter alınarak hava izleme ağı yer seçimi (Munshi ve Patil, 1982), sayısal yöntemler (K.E. Noll ve ark., 1977), Doz İzleme Araştırma Tasarımı (DMSS) dağılım modellemesi ile hava kalitesi izleme istasyonu yer seçimi (K. E. Noll ve Mitsutomi, 1983) isimli çalışmalardır.

Ancak literatürdeki ÇÖKV yöntemleri ile ilgili tüm çalışmalar incelendiğinde hava kalitesi izleme istasyonu yeri seçimi ile ilgili olarak ÇÖKV teknikleri ile yapılmış bir çalışmanın mevcut olmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada ÇÖKV teknikleri ile hava kalitesi izleme istasyonu yeri seçimi yapılmasına karar verilmiş ve daha sonra yapılacak çalışmalar için örnek olması öngörülmüştür.

3. LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan bu literatür çalışmasında, ilk olarak şehirlerdeki hava kalitesinin geliştirilmesi amacıyla şehir merkezlerinde yapılan hava kalitesi ölçüm çalışmaları (Temiz Hava Eylem Planları) ve sonrasında termik santraller çevresinde hava kalitesinin belirlenmesi çalışmaları incelenmiştir.

3.1. Hava Kalitesinin Aktif / Pasif Örnekleme Yöntemi ile Ölçülmesi

Hava kalitesinin aktif ve pasif örnekleme yöntemleriyle ölçülmesi konusunda literatür incelendiğinde farklı araştırmaların yapıldığı bir çok çalışmaya rastlanmaktadır. Her iki örnekleme yöntemiyle ölçümü gerçekleştirilen çalışmalar olduğu gibi, sadece aktif yöntemlerle örnekleme yapılan ve sadece pasif yöntemlerle örnekleme yapılan çalışmalar da mevcuttur (Janssen ve ark., 2012; Mavroidis ve Iliia, 2012; Kara ve ark., 2013; Latif ve ark., 2014).

Sabit istasyonlar da kullanılan otomatik ölçüm analizörleri, standartlara uygun koşullarda olup yapılan farklı çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Çalışmada, otomatik SO₂ analizörü için UV floresan yöntemini, otomatik NO_x analizörü için kemilüminesans yöntemini ve otomatik O₃ analizörü için de UV fotometri yöntemini kullanan otomatik analizörler tercih edilmiştir (Alp ve ark., 2008; Doğan ve ark., 2008; Pekey ve ark., 2008).

Proje kapsamında kurulan hava kirliliği ölçüm istasyonlarında, SO₂, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, ve PM_{2.5} gibi kirleticiler ile birlikte meteorolojik veriler de saatlik olarak ölçülmektedir. Otomatik analizörler yardımıyla aktif ölçümlerin yanı sıra istasyon sınırları içerisinde 2 haftalık ölçüm periyotlarıyla, ölçüm sonuçlarının doğruluğunu kontrol etme amaçlı pasif örnekleme gerçekleştirilmiştir. Yaz ve kış dönemlerini temsil etmesi açısından 15 günlük süreçler boyunca çalışma alanının genelinde (Kütahya il sınırları dahilinin büyük bölümünü kapsayan 110 noktada) pasif örnekleme kampanyaları sürdürülmüştür. Sürdürülen bu pasif örnekleme kampanyası farklı bir tez başlığı altında incelenmiş olup projede yapılan pasif örnekleme çalışmasına benzer bir çalışma Mavroidis ve Iliia (2012) tarafından Atina'da da gerçekleştirilmiştir.

Ôzden ve ark. (2005), Eskişehir ilinde yaptığı çalışmada, SO₂ ve PM'i aktif örnekleme, NO₂ ve O₃'u ise pasif örnekleme yöntemiyle ölçülmüştür. Üretilen tüm veriler Eskişehir hava kalitesi değerlendirmesinde kullanılmıştır. Kirleticilerin birbirleriyle ve aynı zamanda meteorolojik parametrelerle olan ilişkileri de incelenmiştir.

Büyükşehirlerde temiz hava planları geliştirmek için hava kalitesi değerlendirmesinin nasıl kullanılacağı ve gerçekleştirileceğine dair deneyimleri aktarmak amaçlı çeşitli büyükşehirlerde gerçekleştirilen KENTAIR ve IKONAIR projelerinde de benzer çalışmalar yapılmıştır (Bloemen ve Şahin, 2012; Devrim ve ark., 2013; Ücük ve ark., 2013; Yüksek ve ark., 2013).

Çalışma alanında hava kirliliğinin doğru bir şekilde ölçülmesi, hava kirliliği politikaları oluşturulması ve bu politikalar çerçevesinde hava kalitesinin daha iyi duruma getirilebilmesi amacıyla van Doorn ve ark. (2005) tarafından Ankara ve Kütahya illerinde hava kalitesinin belirlenebilmesi için ön bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Mevsimsel değişimi görmek amacıyla, yaz ve kış dönemleri boyunca SO₂, NO₂, O₃ ve benzen seviyeleri, pasif örnekleme kampanyaları ile belirlenmiştir. Kütahya'da kış dönemi SO₂ ortalamaları 60–290 µg/m³ arasında değişmekte iken yaz dönemi SO₂ ortalamaları 35–100 µg/m³ arasında değişmektedir. Yoğun bina yapılaşması nedeniyle dispersiyon koşullarının kötü olmasının, yüksek SO₂ seviyelerini açıkladığı düşünülmektedir. Yaz aylarında da yüksek çıkan SO₂ seviyelerinin nedeni evlerde yemek yapmak ve su ısıtmak için düşük kaliteli kömür kullanımınıdır. Aynı çalışma kapsamında Hamel ve ark. (2004) tarafından hazırlanan raporda da Kütahya iline ait ön çalışmalar daha detaylı olarak incelenmiştir.

3.2. Termik Santral Çevresinde Aktif ve Pasif Örnekleme Yöntemleri ile Hava Kalitesinin Belirlenmesi Çalışmaları

Projenin çıkış noktası, çalışma alanı içerisinde yer alan termik santrallerin hava kirliliğine katkısı olduğu hipotezidir. Bu kapsamda, aktif ve pasif örnekleme yöntemleriyle hava kirleticileri ölçülmüş ve kirlilik periyotlarının termik santrallerle ilişkili olup olmadığı araştırılmıştır.

Kömür ile çalışan termik santraller, doğaya verdikleri katı ve gaz atıklar sebebiyle, gerek hava kirliliğinin oluşmasında gerekse de ekosistemin zarar görmesinde çok etkili rol almaktadırlar (Ozyurt, 2006). Yetmişli yıllarda termik santrallerin üretimini arttırmak amacıyla yeni tekniklerin uygulanması, düşük kaliteli kömürlerin değerlendirilmesi olanaklarını arttırmış ve yanma sonucunda da düşük kaliteli kömürlerin oluşturduğu gaz ve toz emisyonları ile büyük miktarda katı atıklar ve gazlar meydana gelmiştir (Demir, 2009).

Türkiye'nin sahip olduğu en bol fosil kaynaklı yakıt, düşük kaliteli ve yüksek derecede kirlenmeye yol açan linyit kömürüdür ve bol miktarda bulunduğundan ülke enerji üretiminin temelini oluşturmaktadır (Ozyurt, 2006). Ancak bu tür kömür kullanımının yanında motorin, doğal gaz, fuel oil veya jeotermal enerji kaynakları kullanımı da hava kirliliği oluşturmaktadır (Arslan, 2010).

Kükürt oksit emisyonlarının etkilerinin azaltılması; yerel ya da dumanın hareket ettiği yönde bölgesel kirlilik oluşturdukları için birçok ülkede çevre politikalarının birincil hedefi durumundadır (Arslan, 2010). Emisyon hızları yakıtın kükürt miktarı ve tesisin çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Yakılan çeşitli kömürlerin kükürt içerikleri büyük oranda değişmekte olup düşük kükürt içeriğine sahip kömür veya diğer fosil yakıtları, kömürü akışkan yatakta yakma gibi mekanik kömür temizleme teknolojileri ve baca gazı desülfürizasyonu yöntemi kullanılarak kükürt emisyonunu azaltmak mümkündür. Baca gazı desülfürizasyonu ile %95-99.9 oranında kükürt arıtımı sağlanabilmektedir (Arslan, 2010).

Azot oksit emisyonları, tek başlarına ya da diğer kirleticiler ile birlikte yerel, bölgesel ya da uluslararası ölçekte sağlık ve çevresel etkileri arttırıcı özelliktedirler. Emisyon miktarları değişikliğe uğratılmış yakma teknikleri aracılığı ile %60'a kadar azaltılabilmektedir (Arslan, 2010).

Çoğunlukla kömür yakıtlı santrallerden kaynaklanan PM'ler kontrol edilmedikleri takdirde sıvı ya da gaz yakıtlı santrallerden çok daha yüksek emisyon değerlerine ulaşmaktadırlar. Türkiye'de termik santrallerde kullanılan kömürün yanması sonucu her yıl büyük miktarda uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Uçucu küller genellikle termik santral yakınlarındaki atık depolama alanlarına yığılmakta ve çok önemli çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu sebeple uçucu küllerin çeşitli

alanlarda kullanılması ve değerlendirilmesi çok önemlidir. Uçucu kül partikülleri temas halinde buldukları ortamın pH'ını arttıracak bileşenleri, radyoaktif ve toksik olabilecek bazı elementleri de içerebilmektedir (Demir, 2009; Arslan, 2010). Termik santrallerden kaynaklı uçucu kül ve partiküllerin etkileri birçok araştırmaya ilham konusu olmuş ve farklı termik santraller çevresinde insan ve canlı sağlığı üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Kamışoğlu, 2008; Demir, 2009; Arslan, 2010; Karagöktaş, 2012).

Termik santral emisyonları, insan ve canlı sağlığının yanı sıra civarındaki topraklarda da birikerek, toprak kirliliğine de neden olmaktadır. Karaca ve ark. (2009) yaptığı çalışmada, Çayırhan Termik Santrali baca gazı emisyonlarının çevre toprakları üzerine yapmış olduğu etkiler araştırılmıştır. Emisyonların hakim rüzgar yönünde hareket edeceği göz önüne alınarak farklı rüzgar yönlerinde yer alan tarım alanlarından toprak örnekleri alınarak pH, organik madde ve toplam Nikel, Pb, Cd, ve S katkıları belirlenmiştir.

Yukarıda bahsedildiği gibi, termik santrallerden yoğun miktarda gaz fazı kirleticiler, partikül maddeler ve uçucu küller açığa çıkmaktadır. Projede yapılan çalışmaya benzer bir örnek, Vardar ve Yumurtacı (2010)'nın çalışmasında da görülmekte olup linyit kullanan 13 farklı termik santralden kaynaklı gaz fazı kirleticilerin, çeşitli organik kirleticilerin ve bazı iz element metallerinin emisyonları hesaplanmıştır. Zeydan ve Yıldırım (2013)'in Zonguldak şehri, Çatalağzı enerji havzasında yaptığı çalışmada, üç adet termik santralden kaynaklanan azot oksitler, kükürt dioksit, partikül maddeler ve karbondioksit emisyonları irdelenmiştir. Emisyonların hesaplanması için USEPA tarafından yayınlanan emisyon faktörleri kullanılmıştır. Emisyonların hesaplanması sırasında tüketilen yakıt miktarları göz önünde bulundurulmuş, hava kirliliği kontrol ekipmanlarının ne ölçüde giderim yaptığı ve tesislerin çalışma kapasiteleri de dikkate alınmıştır. Her termik santral için ayrı ayrı olmak üzere azot oksitler, kükürt dioksit, partikül madde ve karbon dioksit emisyonları hesaplanmıştır. Toplamda PM₁₀ emisyonu 1583.3 ton/yıl, SO₂ emisyonu 22282.9 ton/yıl, NO_x emisyonu 31703.6 ton/yıl, CO₂ emisyonu ise 6186398.0 ton/yıl olarak bulunmuştur. Bölgeden salınan karbondioksit emisyonunun ülkemizdeki toplam CO₂ emisyonuna oranı da yaklaşık %2 olarak belirlenmiştir. Literatürde termik santrallerden kaynaklı

emisyolların hesaplandığı birçok çalışmaya rastlanmaktadır (Patil ve Patil, 1990; Say, 2006; Hao ve ark., 2007; Zhao ve ark., 2008; Vardar ve Yumurtacı, 2010; Ozkurt ve ark., 2013).

Projede bir başka iş paketi içerisinde yer alan hava kalitesi modellemesi ile, emisyon envanteri ve meteorolojik veriler kullanarak, termik santrallerden ve diğer kaynaklardan dolayı çalışma alanı ve çevresinde oluşan hava kirliliğinin tahmin edilmesi planlanmıştır. Literatürde yer alan farklı örneklerde de bu tür çalışmalara rastlanmaktadır (Elbir, 2003; Im ve Yenigün, 2005; Yousif ve ark., 2006; Nazari ve ark., 2012). Literatürde sadece termik santrallerden kaynaklı kirlenici emisyonlarının hesaplandığı çalışmalar bulunurken aynı zamanda tüm kirlenici kaynaklarının dikkate alındığı emisyon envanterleri oluşturularak yapılan hava kalitesi modelleme çalışmaları da yer almaktadır. Özkan (2013) yaptığı lisans tezi çalışmasında, Kütahya bölgesindeki termik santrallerin hava kalitesine katkılarının belirlenmesi amacıyla Kütahya il sınırları içinde bulunan Seyitömer ve Tunçbilek termik santralleri ile Bursa il sınırı içerisinde bulunan Orhaneli termik santrallerine ait emisyon envanteri hazırlamıştır. Bu üç termik santralin enerji kaynağı olarak kullandığı kömürü yakması sonucunda oluşan SO₂, CO, NO_x ve PM₁₀ kirlenici derişimleri American Meteorological Society / Environmental Protection Agency Regulatory Modeli (AERMOD) hava kalitesi dağılım modeli yardımıyla hesaplanmış ve hem üç termik santralin toplam etkisi hem de termik santrallerin tekil etkileri belirlenmiştir. Ozkurt ve ark. (2013) Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Çan-Bayramiç'te yaptığı çalışmada, SO₂ ve NO₂ kirlenicilerinin emisyon hızları California Puff Model (CALPUFF) modeli ile hesaplanmış ve aynı zamanda bu kirlenicilerin derişimleri, 2007-2008 yılları arasında 10 farklı noktada ölçülerek model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Dölek ve Atımtay (2008), yaptığı benzer bir çalışmada, Ankara ili için atmosferik dağılım modellerinin çalıştırılmasında kullanılan emisyon verileri ile termik santral ve yerleşim bölgelerini kapsayan bölgenin emisyon envanterini hazırlamıştır. Çalışma alanında 15 farklı noktada kasım 2004 dönemi için, aylık ortalama SO₂ ve PM₁₀ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Model sonuçları ile ortam hava kalitesi ölçüm sonuçları karşılaştırılarak ISCST3 ve AERMOD modellerinin yer seviyesi konsantrasyon tahminlerinin doğruluk oranları belirlenmiştir. Çin'in en büyük kentlerinden biri olan Beijing'de Hao ve

ark. (2007) yaptığı bir diğer çalışmada ise, 2000-2008 yılları arasında termik santrallerin hava kalitesine etkilerini, CALMET/CALPUFF modeli yardımıyla hesaplanmıştır.

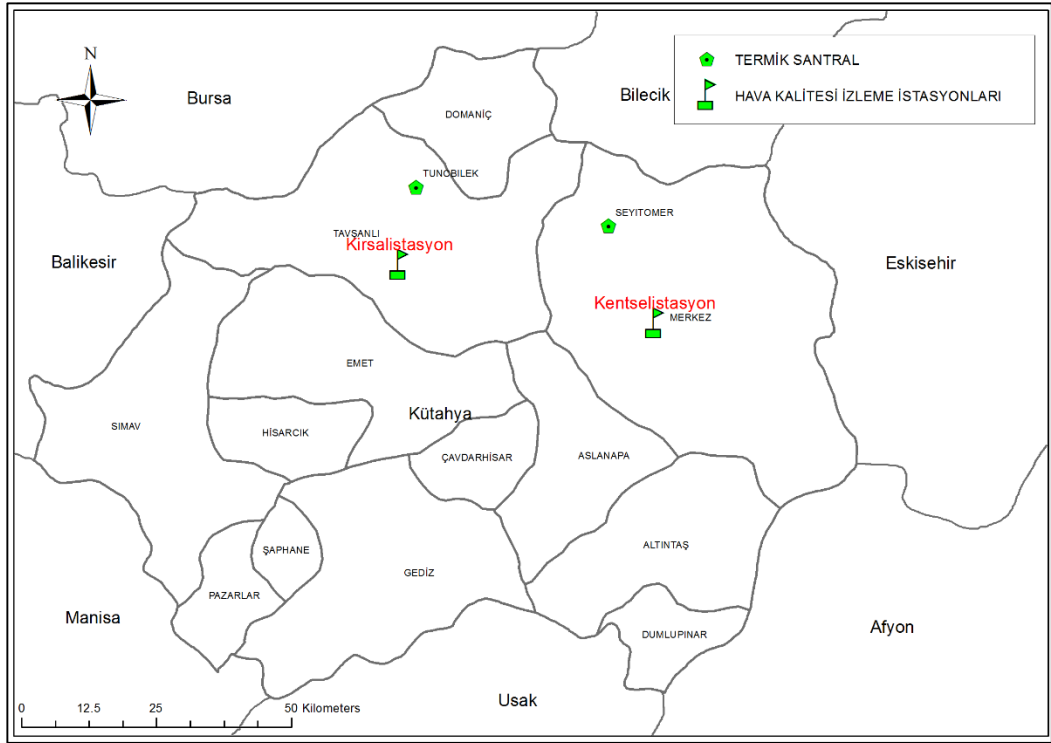
Chakraborty ve ark. (2008) yaptığı çalışmada, Hindistan'daki bazı kömür bazlı termik santrallerden kaynaklı CO₂ (doğrudan sera gazı), CO, SO₂ ve NO (doğrudan olmayan sera gazı) kirleticilerinin etkisini gözlemleyebilmek için online lmlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Seron Arbeloa ve ark. (1993), potasyum işleme tesisi ve iki adet termik santralden kaynaklı kirleticilerin çevresel etkilerini belirlemek için gerekli olan hava kalitesi izleme istasyonu ağının optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Teorik bir çalışma olan bu örnekte, birden fazla kirletici ölümü gerçekleştirilmesi durumunda, hava kalitesi izleme istasyonu ağı optimizasyonu değerlendirilmiştir.

4. MATERYAL ve METOD

4.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler

Kütahya, Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu bölümünde yer almaktadır. Kütahya ili, 38° 70' ve 39° 80' kuzey enlemleri ile 29° 00' ve 30° 30' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Kütahya'nın doğusunda Eskişehir, güneydoğusunda Afyonkarahisar, güneyinde Uşak, güneybatısında Manisa, batısında Balıkesir, kuzeyinde de Bursa ve Bilecik illeri bulunmaktadır. Kütahya ili, ilçeleri, hava kalitesi izleme istasyonları ve termik santrallerin konumları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

2013 yılı adrese dayalı nüfus sayımına göre ilin toplam nüfusu 249,558 olup bunun 227,775 ilçelerde, 21,783 kişisi de belde ve köylerde yaşamaktadır. İlin genel nüfus yoğunluğu ise 48 kişi/km²'dir (Dinç ve ark., 2011).



Şekil 4.1. Kütahya ili, ilçeleri, hava kalitesi izleme istasyonları ve termik santraller

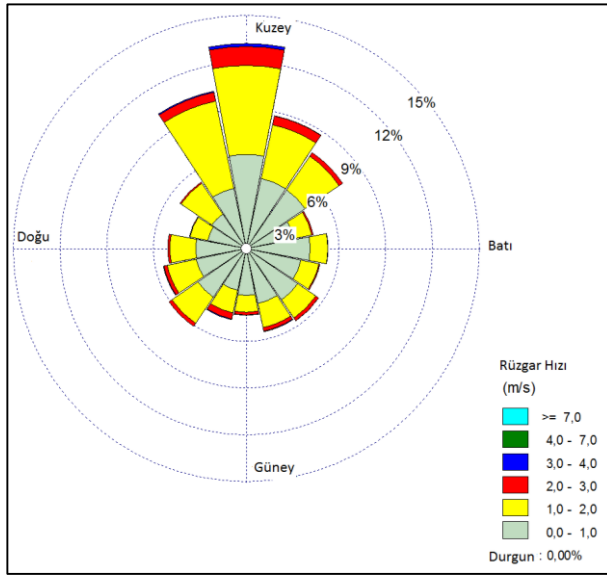
İç Batı Anadolu eşiği üzerinde yer alan Kütahya bölgesinin yüzey şekilleri bakımından bariz karakterini, Yellice Dağının ve tepe dizilerinin yer aldığı çeşitli yükseltilerdeki yaylalar ile bunlar içinde gelişmiş ovalar oluşturmaktadır. Kütahya Ovası, deniz seviyesinden ortalama 930 m yüksekliktedir. Gerek dağ ve tepe dizileri, gerek çukur sahalar, eşiğin genel karakterine uygun olarak kuzeybatı–güneydoğu istikametinde uzanmaktadır. Kütahya şehir merkezi kuzeybatı–güneydoğu uzanımlı bir havzada yer almaktadır. Bölgede yıl içinde etkili olan aksiyon merkezlerinin durumları ile diğer klimatik etkenler ile birlikte yukarıda açıklanan topografik etkenler, kirletici emisyonların taşınması, miktarları ve özellikle kent havasında kalma süreleri bakımından olumsuz koşullar oluşturmaktadır. Bu nedenlerle, yıl boyunca faaliyetlerini sürdüren sanayi kuruluşlarından kaynaklanan emisyonlara, kış sezonunda ısınma kaynaklı emisyonların da eklenmesi, kentteki hava kirliliğini kritik boyutlara getirmektedir (Keser, 2002; Hamel ve ark., 2004; van Doorn ve ark., 2005; Dinç ve ark., 2011).

Kütahya'nın iklimi Ege, Marmara ve İç Anadolu Bölgeleri arasında "geçiş iklimi" özelliği göstermektedir. Kütahya'da her üç iklim tipinin özelliklerini görmek mümkündür. Sıcaklık şartları daha çok İç Anadolu bölgesinin karasal iklim şartlarını yansıtmaktadır. Kurak iklim ile nemli iklim arasındaki "geçiş iklimi" tipine girmektedir (http, 2014)

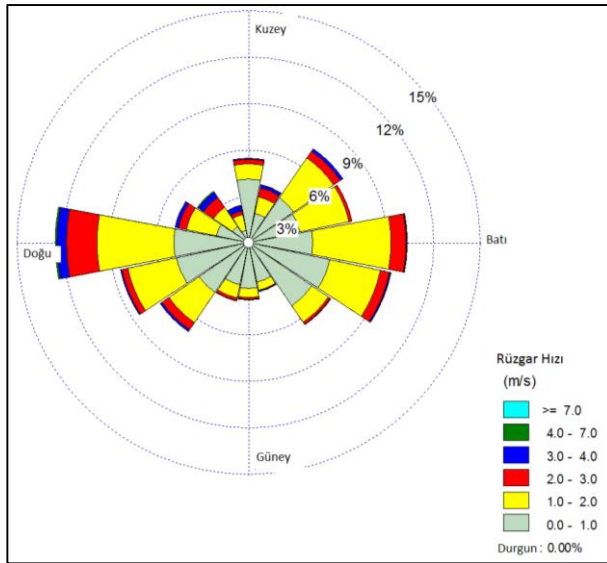
Kütahya ilinde yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı geçmektedir. Kütahya'da yıllık sıcaklık ortalaması 10.5 °C'dir. En sıcak aylar, temmuz ve ağustos, en soğuk aylar ocak ve şubattır. İlde ölçülen en yüksek sıcaklık 38.6 °C'dir. En düşük ölçülen sıcaklık ise 28.1 °C'dir. Buradan da anlaşılacağı gibi, yıllık sıcaklık 6.7 °C ile büyük bir fark göstermektedir (Ôzkan, 2013).

Kütahya'da yağışlar, karasal iklime bağlı olarak, kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde görülür. Yıllık ortalama yağış miktarı 565 mm'dir. En yağışlı ay aralık, en kurak ay ise Ağustos'tur. Yağışların %38.8'i kış, %29.4'ü İlkbahar, %12.5'i yaz, %19.3'ü sonbahar aylarında düşer. Kış aylarında, sıcaklığın düşük ve yükseltilerin fazla olması nedeniyle yağışlar genellikle kar şeklinde, diğer mevsimlerde ise yağmur şeklindedir. Kar yağışlı günlerin, yıllık ortalama sayısı 19 gündür. Kar kalınlığı ise ortalama 12 cm civarındadır (Ôzkan, 2013).

Kütahya yaz aylarında alçak basınç merkezi olduğu için özellikle kuzey sektörlü rüzgarlara açıktır. Kütahya’da hakim rüzgâr yönü kuzeydir. Yıldız adlı kuzey rüzgârı yılda ortalama 2,944 kez eser. Bunu kuzeybatıdan esen karayel izler. Daha sonra güneybatıdan esen lodos rüzgârı görülür. İlde ortalama rüzgar hızı 1.7 m/sn’dir. Ölçülen en yüksek rüzgâr hızı değeri, kuzeybatıdan esen karayele ait olup 27.6 m/sn’dir (Ôzkan, 2013). Kütahya şehir merkezinin ve Tavşanlı ilçesinin, 2014 yılına ait yıllık rüzgar gülleri Şekil 4.2 (a) ve (b)’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.2. Kütahya şehir merkezi (a) ve Tavşanlı ilçesi (b) 2014 yılına ait yıllık rüzgar gülleri

4.1.1. Çalışma alanı ve çevresinde bulunan potansiyel kirletici kaynaklar

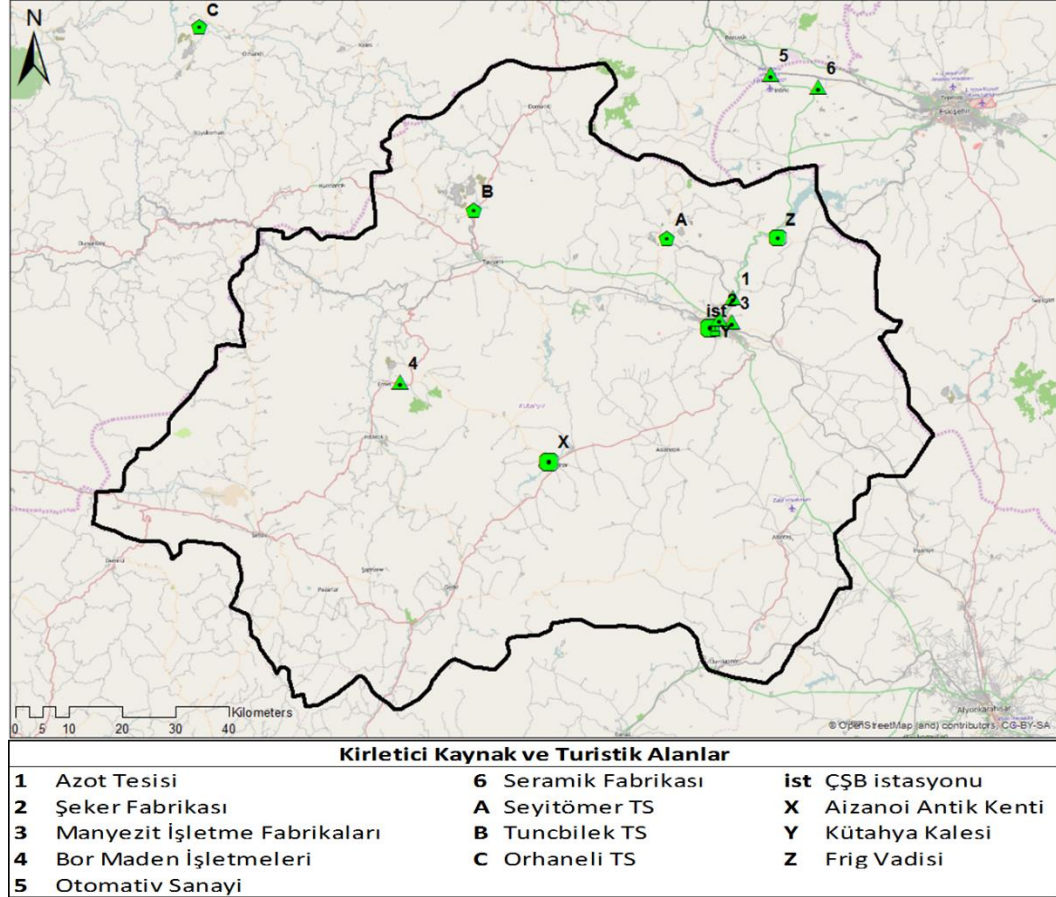
Kent merkezleri, sanayi tesislerinin yerlerinin yanlış seçilmesi sebebiyle yüksek kirletici derişimlerine maruz kalmaktadır. Bu bakımdan Kütahya'daki hava kirletici emisyonlarının önemli sebeplerinden birini şehir merkezi ve çevresinde bulunan endüstri kuruluşları oluşturmaktadır. Kütahya şehir merkezi ile yakınında yer alan başlıca endüstriyel kuruluşlar aşağıda sıralanmıştır.

- a. TEAŞ-Tunçbilek Termik Santrali
- b. TEAŞ-Seyitömer Termik Santrali (2014 yılında özelleştirildi)
- c. Gübre Sanayi Fabrikaları
- d. Şeker Fabrikası Fabrikaları
- e. Manyezit İşletme Fabrikaları
- f. Porselen ve cam Fabrikaları
- g. Çini ve seramik Fabrikaları
- h. Kiremit Fabrikaları
- i. Azot Tesisi
- j. Bor Maden İşletmeleri
- k. Otomotiv Sanayi

Kamu ve özel sanayi kuruluşlarının sektör olarak dağılımı tez içerisinde yer alan Ek-7'de verilmiştir.

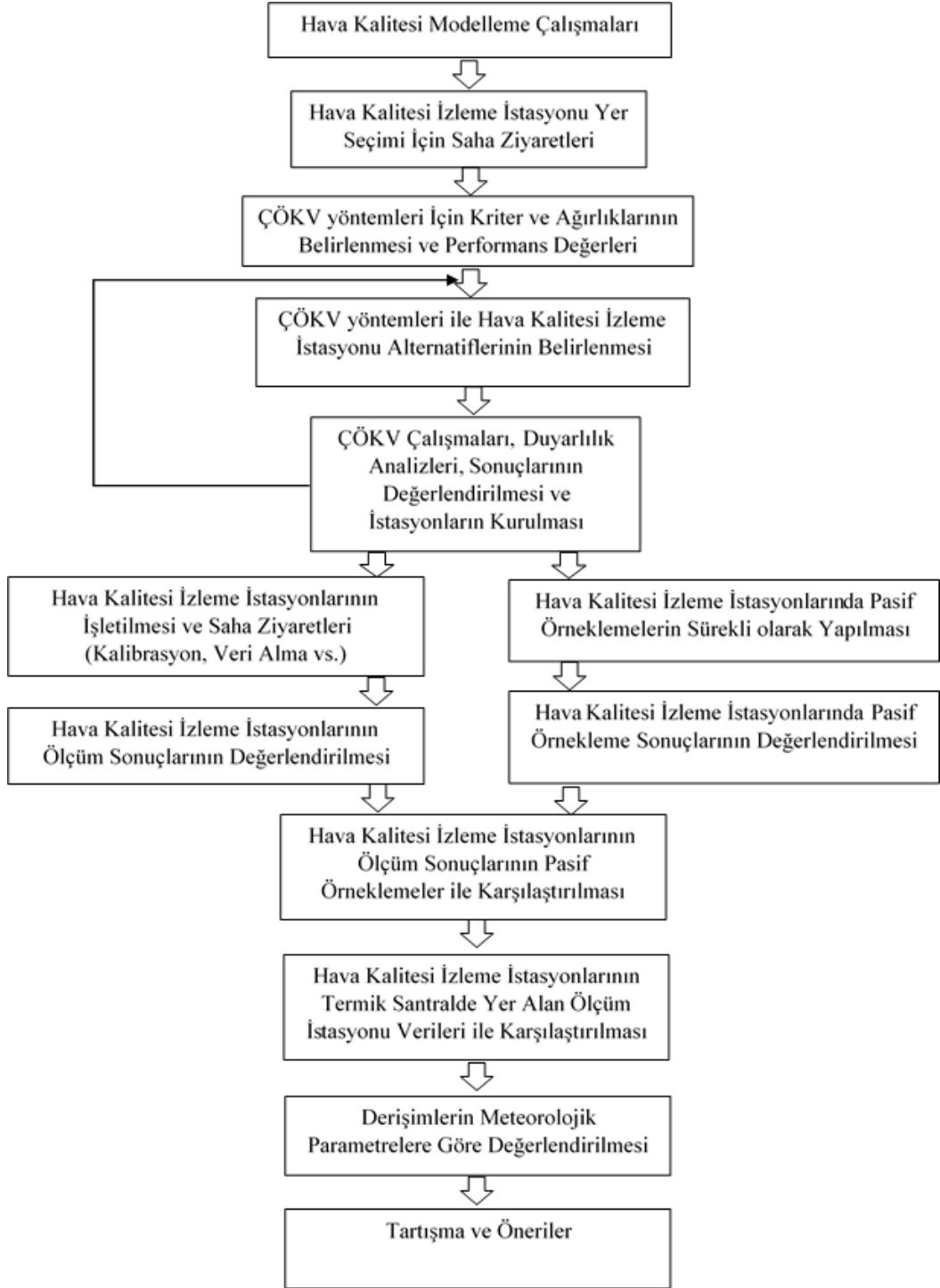
Bu kuruluşlardan emisyonları ile öne çıkan Tunçbilek Termik Santrali, il merkezinin kuş uçuşu 54 km kuzeybatısındaki Tavşanlı ilçesinin Tunçbilek kasabasında yer almaktadır. Seyitömer Termik Santrali, il merkezinin kuş uçuşu 28 km kuzeybatısında bulunmaktadır. Kütahya şehir merkezinden biraz daha uzakta bulunan Orhaneli Termik Santrali ise il merkezine kuş uçuşu 120 km, diğer fabrika ve şirketler ise il merkezine maksimum 60-70 km mesafelerde yer almaktadırlar (Keser, 2002). Tunçbilek Termik Santrali ve Seyitömer Termik Santrali, ova içinde yer almakta olup, bulunduğu yükselti de yaklaşık olarak şehirle aynı seviyededir. Kuruluş aşamasında yerleşim yerlerinden uzak konumlandırılmış Tunçbilek ve Seyitömer Termik Santralleri günümüzde kent ve ilçe merkezleriyle iç içe durumdadır.

Çalışma alanı içerisinde yer alan endüstriyel kuruluşlar, tarihi alanlar (Aizanoi Antik Kenti, Frig Vadisi ve Kütahya Kalesi) ve T.C. Kütahya Valiliği Çevre ve Şehircilik Müdürlüğüne ait hava izleme istasyonu Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Çalışma alanında bulunan bazı kirlenici kaynaklar ve çeşitli arkeolojik alanlar

Tez çalışması kapsamında izlenen metodoloji Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışmalar bundan sonraki kısımlarda detaylandırılacaktır.



Şekil 4.4. Çalışmanın akım şeması

4.2. Atmosferik Dağılım Modeli (AERMOD) ile Potansiyel İstasyon Yerlerinin Belirlenmesi

Hava kalitesi izleme istasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde atmosferik dağılım modeli olan AERMOD kullanılmıştır. Model yardımıyla oluşturulan kirletici dağılım haritaları, iki termik santralin hava kalitesine katkısını görmek açısından önemlidir. Çalışma kapsamında, kirleticilerin yer seviyesi derişimlerinin belirlenmesi amacıyla atmosferik dağılım modeli, TÜBİTAK projesi (bu tez çalışmasının desteklendiği TÜBİTAK projesi) ekibinde yer alan Dokuz Eylül Üniversitesi ekibi tarafından yapılmıştır.

USEPA tarafından geliştirilen ve günümüzde hava kalitesi modellemesi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan AERMOD modeli, atmosferik sınır tabakasında meydana gelen kirletici dağılımlarının simülasyonu için geliştirilmiş özel algoritmalar kullanmaktadır. Kararlı hal dağılım modeli olması sebebiyle ise meteorolojik veriler ve emisyon verileri bu modelde önem arz etmektedir.

Emisyon kaynaklarından salınan kirleticilerin yer seviyesi derişim sonuçlarını belirleyen önemli etkenlerin başında bölgenin meteorolojisi gelir. Atmosferin seyreltme etkisini belirleyen temel etken olan meteorolojik verilerin modellerde girdi dosyası olarak kullanılabilmesi için öncelikle ön-işlemci programlar kullanılarak girdi dosyalarının istenilen formatta hazırlanması gerekmektedir. AERMOD modeli için gerekli olan meteorolojik dosyaları hazırlamak amacı ile yine USEPA tarafından AERMET ön-işlemcisi geliştirilmiştir. AERMET ön-işlemcisi; rüzgar yönü, rüzgar hızı, sıcaklık, bulut miktarı (kapalılık), bulut tavan yüksekliği, basınç, nem, vb. parametreleri içeren yüzey meteorolojik verileri ve üst atmosfer özelliklerini gösteren radyosonda meteorolojik verilerine ihtiyaç duyar (Dölek ve Atımtay, 2008). Modelde kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan tüm yer seviyesi meteoroloji verileri 17155 kodlu Kütahya Merkez istasyonundan 2013 yılı için temin edilmiştir. Üst katman verileri ise NOAA/ESRL Radyosonda veri tabanında yer alan Isparta istasyonundan temin edilmiştir (http, 2013).

Modelleme çalışması kapsamında; öncelikli olarak çalışma alanında yer alan, üç adet termik santrale ait emisyon envanteri çıkartılmıştır. Seyitömer Termik

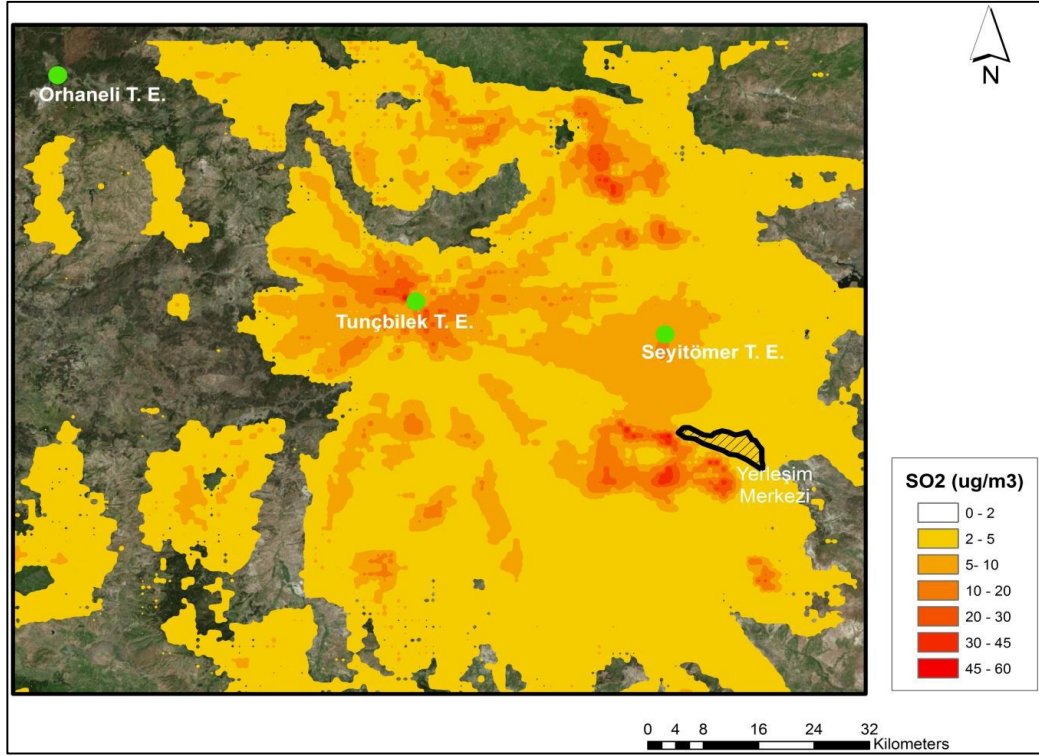
Santrali'nde dört ve Tunçbilek Termik Santrali'nde üç ve Orhaneli Termik Santrali'nde bir adet olmak üzere toplamda sekiz adet bacaya ait emisyon değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmalar Dokuz Eylül Üniversitesinde bulunan proje grubu tarafından hazırlanmış olup termik santrallere ait yıllık toplam emisyonlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Termik santrallere ait emisyon verilerini hesaplamak için yakıt tüketimi, kullanılan yakıtların ısı değerleri ve seçilen kirleticilere ait EMEP/CORINAIR veri tabanından sağlanan emisyon faktörleri kullanılmıştır (EEA, 2009; Özkan ve ark., 2013).

Çizelge 4.1. Termik santrallere ait yıllık toplam emisyonlar (Özkan ve ark., 2013)

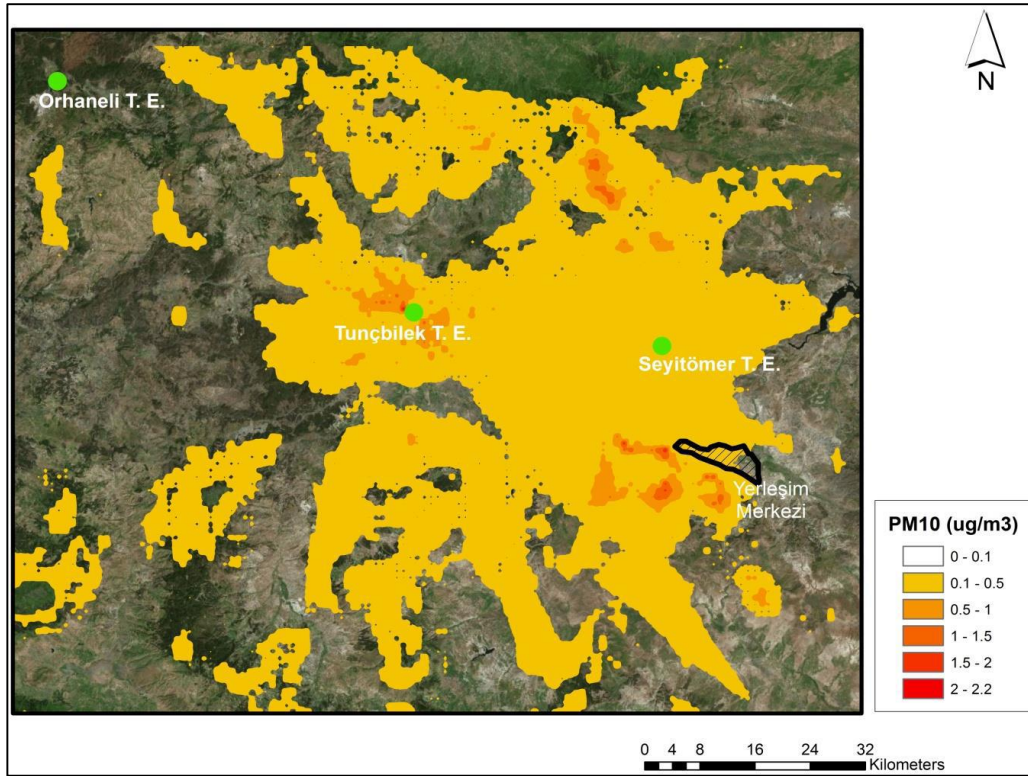
Termik Santraller	Yıllık Toplam Emisyonlar (ton/yıl)			
	SO ₂	CO	NO _x	PM ₁₀
Seyitömer Termik Santrali	30.565	746	10.667	1.117
Tunçbilek Termik Santrali	8.492	208	2.971	310
Orhaneli Termik Santrali	4.886	120	1709	178
TOPLAM	43.943	1.074	15.347	1.605

Emisyon envanteri ve bölgenin meteorolojik ve topografik durumu dikkate alınarak, bu santrallerin SO₂, PM₁₀, NO_x ve CO gibi 4 temel kirletici bakımından bölge hava kalitesine olan katkısı ortaya konulmuştur (Özkan ve ark., 2013). Böylece modelleme çalışmaları ile sadece 3 santralin katkısını hesaplayan bir çalışma yapılmış olup, aynı zamanda ÇÖKV tekniklerinde kullanılacak olan potansiyel noktaların yerleri belirlenerek değerlendirilmiştir.

Model sonucu elde edilen veriler ışığında termik santrallerden kaynaklı oluşan kirleticilerin dağılımına ait kirlilik haritaları oluşturulmuştur. Yıllık ortalama SO₂ derişimi Şekil 4.5'de, yıllık ortalama PM derişimi de Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Haritalara göre, kirleticiler genellikle Tunçbilek Termik Santrali civarında ve şehir merkezinin batı yönünde yoğun olarak gözlemlenmektedir.



Şekil 4.5. Termik santrallerden kaynaklı yıllık ortalama SO₂ derişimi dağılımı (Özkan ve ark., 2013)



Şekil 4.6. Termik santrallerden kaynaklı yıllık ortalama PM₁₀ derişimi dağılımı (Özkan ve ark., 2013)

Bu sonuçlar ışığında, izleme istasyonlarından bir tanesinin kent merkezindeki hava kalitesini temsil etmesi açısından Kütahya il merkezine, diğer istasyonun da Tunçbilek Termik Santrali ile Seyitömer Termik santrallerinin etkisini görebilmek için kırsal bölgeye kurulması planlanmıştır. Hazırlanan kirletici dağılım haritaları ve rüzgar gülleri ile kirlilik oranı yüksek noktalar ziyaret edilmiş ve koordinatları not edilmiştir. Kentsel ve kırsal istasyonların termik santral emisyonlarının etkisi altındaki bölgelere kurulması planlanmıştır. Kırsal istasyon için seçilen en uygun konum, farklı zaman aralıklarında her iki santralden gelecek emisyonların etkisinin izlenmesi için Tunçbilek Termik Santralini güneyi olarak belirlenmiştir. Kentsel istasyon için ise hakim rüzgar yönüne ve şehir merkezinde kirliliğe maruz kalacak bir bölge seçilmiştir.

4.3. İzleme İstasyonları İçin Mikro-Ölçekli Yer Seçimi Kriterleri

Hava kalitesi izleme istasyonlarının yerlerini seçerken dikkat edilmesi gereken mikro ölçekli yer seçim kriterleri mevcuttur. Hava kirliliği ölçüm aletlerinin numune alma girişleri, bölgeyi temsil edici bir noktada ve hava kalitesi seviyesini belirleyici yerlerde olmasına özen gösterilmiştir. Bölgenin kirlilik seviyesi, kurulacak olan hava kalitesi istasyonunda ne tür bir izleme çalışmasının (kırsal, kentsel, yarı kentsel, yarı kırsal hava kalitesi izleme istasyonu) yapılacağına dair önemli bir kriterdir. Çevre havası ile karışmamış baca gazı veya egzoz gazı gibi emisyonların doğrudan ölçümünden kaçınılmıştır. Ölçüm istasyonu, yerel emisyon kaynaklarına özellikle yakın olmamalıdır (Spangl ve ark., 2007; Marmara Hava Kalitesi Eşleştirme Projesi, 2011).

Kirletici derişimlerinin bölgeyi temsil edici olabilmesi için hava kirliliği ölçüm cihazları girişlerinin; ev, apartman, sanayi ve taşıtların bacalarından çıkan kirletici emisyonların türbülans, vorteks, aşağıya akış açısı (down wash) gibi etkenlerden direk etkilenmemesi için mümkün olduğu kadar yapılardan ve ağaçlardan etkilenmeyen yerlerde olması sağlanmıştır (Spangl ve ark., 2007; Ay ve ark., 2010).

Hava kalitesi izleme istasyonunun yer seçiminde en önemli kriterlerden bir tanesi de güvenlidir. İçerisinde yer alan cihazların yüksek fiyatları sebebi ile, mümkünse park bahçe içerisinde, eğitim alanlarında veya hastane bahçelerinde,

trafik yoğunluğunun çok az veya hiç olmadığı yerlerde, spor alanları, şehir meydanları ve rekreasyon alanlarında olmasına özen gösterilmiştir. Tüm bu hususlar ile birlikte, istasyonun kurulacağı yer ve yakınında çalışan personel varlığı ve ikili anlaşmalar da önemli kriterlerdir. Civardaki personel ile yapılacak ikili anlaşmalar ile istasyonda meydana gelebilecek herhangi bir arıza, yangın, müdahale gibi sebeplerden dolayı bu kritere önem verilmiştir. Ayrıca, istasyonun kurulması ve işletilmesi sırasında, araçla nakil işlemleri gerektiğinden bölgeye ulaşım kolay bir şekilde sağlanmalıdır. Engebeli, yolu olmayan veya ulaşımın zor olduğu bölgeler tercih edilmemiştir.

İstasyonun kurulacağı bölgedeki elektrik hatlarına olan elverişlilik yer seçimi aşamasında dikkat edilmesi gereken bir husustur. İçerisinde bulunan ölçüm cihazları ve bunlara yardımcı ekipmanların hepsi elektrik gücü ile çalıştığından dolayı ihmal edilemeyecek bir konudur. İstasyona elektrik sağlayacak elektrik panoları veya elektrik direkleri ile güç ihtiyacı kolaylıkla erişilebilecek yakın bir mesafede seçilmiştir.

Kurulacak istasyon işletilmesi planlanan süre boyunca belirli aralıklarla ziyaret edileceğinden analizlerin yapılacağı yere olan mesafe de önemli bir kriterdir. Bu mesafe minimum tutularak yakıt masrafından kaçınılmıştır.

Yer seçimi işlemleri, civar alanın yön bilgisini de içeren fotoğraflar, detaylı haritalar ve bunun gibi yöntemlerle sınıflandırma aşamasında tamamen belgelendirilmesi gerekmektedir (Marmara Hava Kalitesi Eşleştirme Projesi, 2011)

Bahsedilen tüm bu hava kalitesi izleme istasyonu mikro-ölçekli yer seçimi kriterleri ışığında, çalışma alanında kurulması planlanan istasyonun kurulma öncesinde, işletim sırasında ve faaliyetlerinin sona erdirilmesi süreçlerinde farklı işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Bu işlemler; izleme istasyonu tasarımı ve ekipman seçimi süreçleridir. Tüm bu işlemler sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır.

4.3.1. Hava kalitesi izleme istasyonlarının fiziksel özellikleri

Hava kalitesi izleme istasyonlarında, ikili dichotomous PM (PM_{2.5} ve PM₁₀) örnekleme cihazı, yığın filtre birimi (stack filter unit - SFU) örnekleyci ve kanister (canister) örnekleyci gibi manüel partikül örnekleyciler açık havada bulunduğundan istasyonun tasarım ve boyutlandırılmasında bu hususlar dikkate

alınmıştır. İzleme istasyonunun etrafına güvenlik amaçlı yerleştirilen çitler, ekipmanları içine alacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarım işleminden önce dış ortam havası bir örneklem hortumu aracılığı ile içeri çekileceğinden kabinin tasarımı sırasında; yerleştirileceği yön, kabinin yüksekliği (dikey yüzeylerden en az bir metre uzaklıkta ve yatay yüzeyden >2 metre), önünde bulunacak engel vs. açısından dikkat edilmiştir. Örneklem borusu yüksek sıcaklık, güneş ışınları, yağmur, yüksek rüzgar hızı gibi dış hava koşullarından korunmaya çalışılmıştır.

Örnek hattında su yoğunlaşması ve görünür partikül birikimi olmamasına sürekli olarak özen gösterilmiş, gerekirse aktif bir pompa yardımıyla hava vakumlaması yapılmıştır.

Kabin şekli ve boyutları çevredeki koşullara göre değişebilmekte olup asgari olarak dıştan dışa en: 225 cm, uzunluk: 250 cm ve yükseklik: 240 cm olmalıdır (Doğru, 2007).

Kabin dış ortam koşullarına dayanıklı olup ve kabin yere sabitlenerek monte edilmiştir. Ancak istenildiğinde de taşınabilir özellikte olmalı ve taşınma esnasında içindeki cihazlara hiçbir zarar gelmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Hava kalitesi istasyonu ölçüm yerinin değiştirilmesi istenildiği takdirde sabit kabinin sadece elektriği kesilerek, taşınması istenilen başka bir noktaya monte edilebilmektedir. Kurulan istasyonlara ait çekilen bir fotoğraf Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4.7. Kurulan istasyonlara ait çekilen fotoğraflar; kırsal (a), kentsel (b)

4.3.2. Ekipman seçimi

Genel olarak, belirlenen izleme amaçlarını karşılayan en düşük maliyetli cihaz seçilmelidir. İstasyonlarda kullanılacak ekipman seçimi, güvenilirlik ve işletme kolaylığı, mevcut ekipman ile uyum, kalibrasyon/bakım ihtiyaçlarını karşılaması açısından da önemli bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda, Anadolu Üniversitesi ve ODTÜ altyapısında mevcut olan otomatik analizörler kullanılmıştır. Proje bütçesinden de bir adet SO₂ analizörü satın alınmıştır.

Kabin içerisinde verilerin gözlenmesi, depolanması ve negatif ve sıfır değerlerinden ayıklama işlemi için gerekli olan bilgisayar ve ekipmanları bulunmaktadır. Kabin içerisine kış aylarında donmayı, yaz aylarında aşırı ışımayı engellemek amacıyla bir klima yerleştirilmiştir.

Kabin içerisindeki ısıtılmalı/soğutmalı tip klima ünitesi ile -25 °C ile 45 °C arasındaki dış ortam sıcaklıklarında sürekli çalışmayı sağlamalıdır. Klima, içeride yer alan ekipmanların güç ve sayısına göre en az 12,000 BTU gücündedir. Klima elektrik kesintisinden sonra tekrar elektrik geldiğinde otomatik olarak çalışmaktadır.

4.3.3. Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) çalışmaları izleme istasyonlarının yer seçimi kriterleri

Kentsel ve kırsal alan istasyonları yer seçimi için benzer yedi kriter seçilmiş ve Çizelge 4.2'de kriterlere ait ağırlıklandırmalar, etki yönleri ve açıklamaları verilmiştir. Çalışmada, AHP ve ELECTRE III yöntemleri için aynı kriterler tanımlanmıştır.

Çizelge 4.2. AHP ve ELECTRE çalışmaları için oluşturulan kriterler

Kriter No:	Kriter Adı:	Artan Düzey Birimi (ELECTRE için)	Kriter Ağırlıklandırma (%)	Açıklamalar
C1	Kirlilik Seviyesi	(1–9) arası puanlama Artan/Azalan yönde*	30	*Kentsel ve Kırsal hava kalitesi istasyonu için kirlilik seviyeleri hakim rüzgar yönüne, kaynaklarına ve yoğunluğuna göre değişmesi istendiğinden kirlilik seviyesi kentsel istasyon için artan, kırsal istasyon için azalan yönlü olmalıdır.
C2	Güvenlik	(1–9) arası puanlama Artan yönde	20	İstasyonların güvenliği ekipman ve cihazların maliyetli olması sebebiyle oldukça önemli bir kriterdir. İstasyon, dışarıdan gelecek tehlikelere, cihazların çalınmasına ve/veya zarar verilmesine karşı güvenli bir noktada olmalıdır.
C3	Elektrik Elverişliliği	(1–9) arası puanlama Artan yönde	10	Bu kriter değerlendirilirken kurulması planlanan istasyon civarında elektrik direkleri veya olası elektrik çekilebilecek noktaların uzaklıkları, konumları, olasılıkları değerlendirilmiştir.
C4	İkili Anlaşmalar	(1–9) arası puanlama Artan yönde	10	Seçilecek istasyon yeri için doğrudan yetkili mercilerle görüşüldüğü için bu kriter önemli bir rol oynamaktadır. Üniversite ile ikili anlaşma kurabilecek bir kurum olması önemlidir.

Çizelge 4.2. (Devam) AHP ve ELECTRE çalışmaları için oluşturulan kriterler

C5	Personel Desteği	(1–9) arası puanlama Artan yönde	10	İstasyonlar kurulmasından sonra, istasyon içerisindeki farklı hava kalitesi ölçüm cihazlarının kontrolü ve ani müdahaleler için personel desteği gerekmektedir.
C6	Kolay Ulaşım	(1–9) arası puanlama Artan yönde	10	İstasyonların kurulması ve işletilmesi sırasında araçla nakil işlemleri gerektiğinden bölgeye ulaşım kolay sağlanmalıdır. Engebeli, yolu olmayan veya ulaşımın zor olduğu bölgeler tercih edilmemektedir.
C7	Mesafe	km azalan yönde	10	Kurulacak istasyon bir yıl süresince belirli aralıklarla ziyaret edileceğinden analizlerin yapılacağı Anadolu Üniversitesi'ne (Eskişehir) olan mesafe de önemli bir kriterdir.

4.4. İzleme İstasyonları için Alternatifler

Bu çalışmada, hava kalitesi izleme istasyonları alternatifleri, kırsal ve kentsel olmak üzere iki başlık halinde tartışılmıştır. Her iki hava kalitesi izleme istasyonu yer seçiminde uyulması gereken kriterleri tartışmak üzere T.C. Kütahya Valiliği Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü ve Kütahya Orman Bölge Müdürlüğü ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Saha ziyaretleri sonucunda kırsal hava kalitesi izleme istasyonu için yedi, kentsel hava kalitesi izleme istasyonu için beş alternatif belirlenmiştir.

4.4.1. Kırsal alan hava kalitesi istasyonu alternatifleri

Model sonucu oluşturulan haritalar ve bölgeyi tanıyan kişilerden alınan görüşler yardımı ile araziye geziler düzenlenmiş ve potansiyel kırsal alan istasyonlarının koordinatları belirlenmiştir. Seçilen noktalar tek tek ziyaret edilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Bu kapsamda, seçilen potansiyel yedi istasyon alternatifi aşağıda açıklanmıştır.

- a. **R1 (Emet Orman İşletme Deposu):** Kırsal hava kalite istasyonu için uygun olan bölgedeki alternatiflerden bir tanesidir. Orman İşletme Müdürlüğü bahçesi civarında yoğun tozuma görülmekte olup aynı zamanda yakın bir mesafede Bor üretim tesisi de bulunmaktadır.
- b. **R2 (Örencik su deposu):** Modelleme sonuçlarına göre uygun olarak görülen bölgelerden birisidir. Örencik Belediyesi tarafından kontrol edilen bölge, araç ulaşımı bakımından biraz sıkıntılıdır.
- c. **R3 (Karlı köyü su deposu):** Karlı köyü içerisinde bulunmaktadır ve muhtar tarafından kontrol edilmektedir. Güvenlik ve ulaşım açısından biraz sıkıntılı görülmektedir. Bölgeye kışın ulaşım şartları düşünüldüğünde zorluklar oluşabilir.
- d. **R4 (DSİ barajının bekçi kulübesi):** DSİ tarafından inşa edilen ve baraj güvenliği için bir bekçinin kaldığı kulübe civarında bir bölgedir. Yardımcı olacak kalifiye personel açısından sıkıntılar görülmüştür.
- e. **R5 (Tavşanlı Belediyesi Arıtma Tesisi):** Tesis Tavşanlı Belediyesine aittir. Tesiste sürekli olarak iki kişi bulunmaktadır. Güvenli ve korunaklı olup kirlilik seviyesi açısından da istenilen düzeydedir.
- f. **R6 (Göbel Kaplıcaları):** Tavşanlı Belediyesi tarafından önerilen ve Belediye tarafından işletilen kaplıcalar yakınındaki bölgedir. Kuş uçuşu mesafe ile Tunçbilek Termik santraline 15-20 km uzaklıkta olup rüzgar yönünün değişimine göre kirliliğe maruz kalacağı düşünülmektedir.
- g. **R7 (Devlet hastanesi):** Devlet Hastanesi civarında yer alan radyo alıcılarının yanında bulunmaktadır. Ulaşım, güvenlik ve personel desteği açısından diğer alternatiflere göre yeterli özelliklere sahip değildir.

4.4.2. Kentsel alan hava kalitesi istasyonu alternatifleri

Kırsal alan istasyonunda olduğu gibi alternatifler, bölgeyi tanıyan kişilerden alınan görüşler yardımı ile araziye düzenlenen gezilerle belirlenmiştir. Bu kapsamda, seçilen potansiyel beş istasyon alternatifi aşağıda açıklanmıştır.

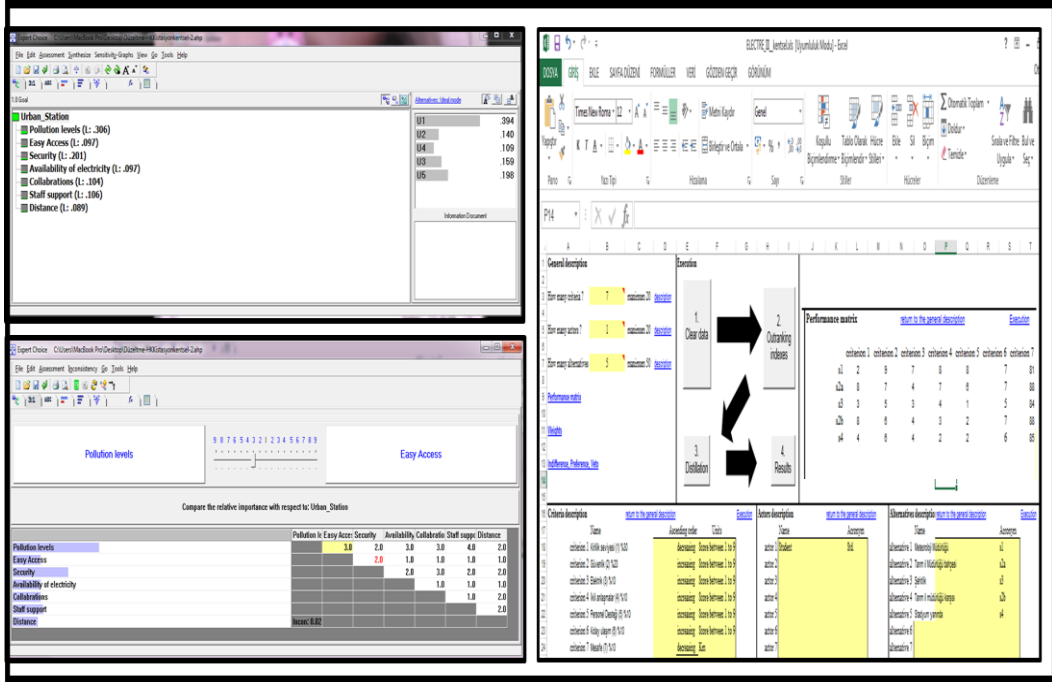
- a. **U1 (Meteoroloji Müdürlüğü bahçesi):** Trafik kaynaklı kirleticilerden de uzak bir yapıdadır. Aynı zamanda Müdürlük bahçesinde sürekli ölçüm yapan meteoroloji istasyonu da bulunmaktadır.
- b. **U2 (Tarım İl Müdürlüğü bahçesi):** Şehrin Tavşanlı çıkışındaki sapakta yer alan nokta aşırı derecede trafik kaynaklı kirliliğe maruz kalmaktadır. Termik santralden gelen kirliliği gözlemede yeterli olamayacağı düşünülmektedir. Güvenlik, ikili anlaşmalar ve personel desteği açısından uygundur.
- c. **U3 (Şehitlik bahçesi):** Meteoroloji Müdürlüğüne yakın olan bu nokta personel desteği ve elektrik açısından biraz daha geri planda kalmaktadır. Bölge civarında bulunan yoğun ağaç varlığı da çalışma açısından istenen bir durum değildir.
- d. **U4 (Tarım İl Müdürlüğü karşısı):** Tarım İl Müdürlüğü'nün tam karşısında yer alan alternatif, önünde bulunan bina sebebiyle zayıf bir seçenek olarak görülmektedir. İstasyonun boyutları düşünüldüğünde bu alana sığmama ihtimali de vardır.
- e. **U5 (Stadyum yanı):** Tam olarak şehir merkezinde bulunan bu seçenek az miktarda da olsa trafiğe maruz kalmaktadır. Personel desteği açısından düşünüldüğünde biraz sıkıntılı görülmektedir. Stadyumda yapılacak müsabaka öncesi ve sonrasında tozuma olacağı da tahmin edilmiştir.

4.5. Çok Ölçütlü Karar Verme Metodolojileri

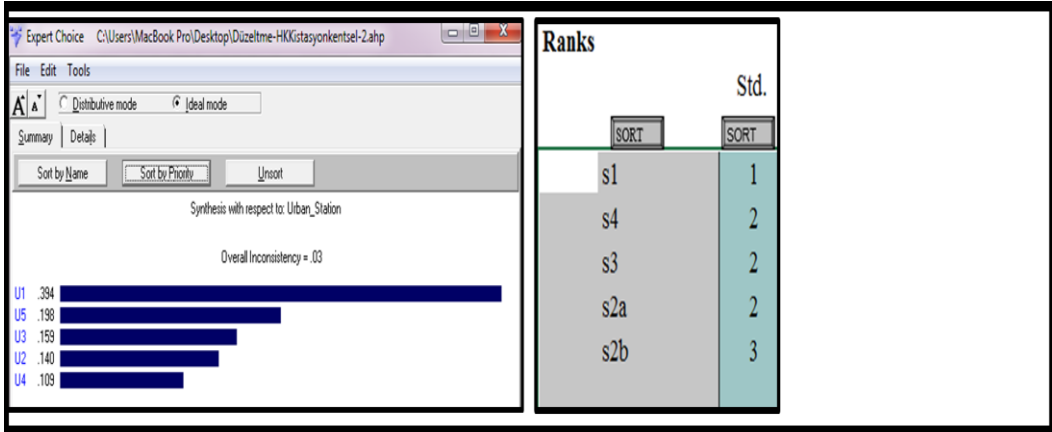
Bu çalışmada, iki farklı ÇÖKV metodu olan AHP ve ELECTRE III kullanılmıştır. ELECTRE ve AHP metotları en güvenilir yöntemler arasında yer almakta olup kullanımı kolay metotlardır (Özkan, 2008). Bu çalışma da,

ELECTRE III ve AHP yöntemlerinin seçilmesinin sebebi farklı bakış açılarıyla çalışma fırsatı tanımlarıdır.

Çalışmada kullanılan ÇÖKV metodlarının (Sol AHP, Sağ ELECTRE) hesaplama sayfaları (a) ve sonuç ekranları (b) Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



(a)



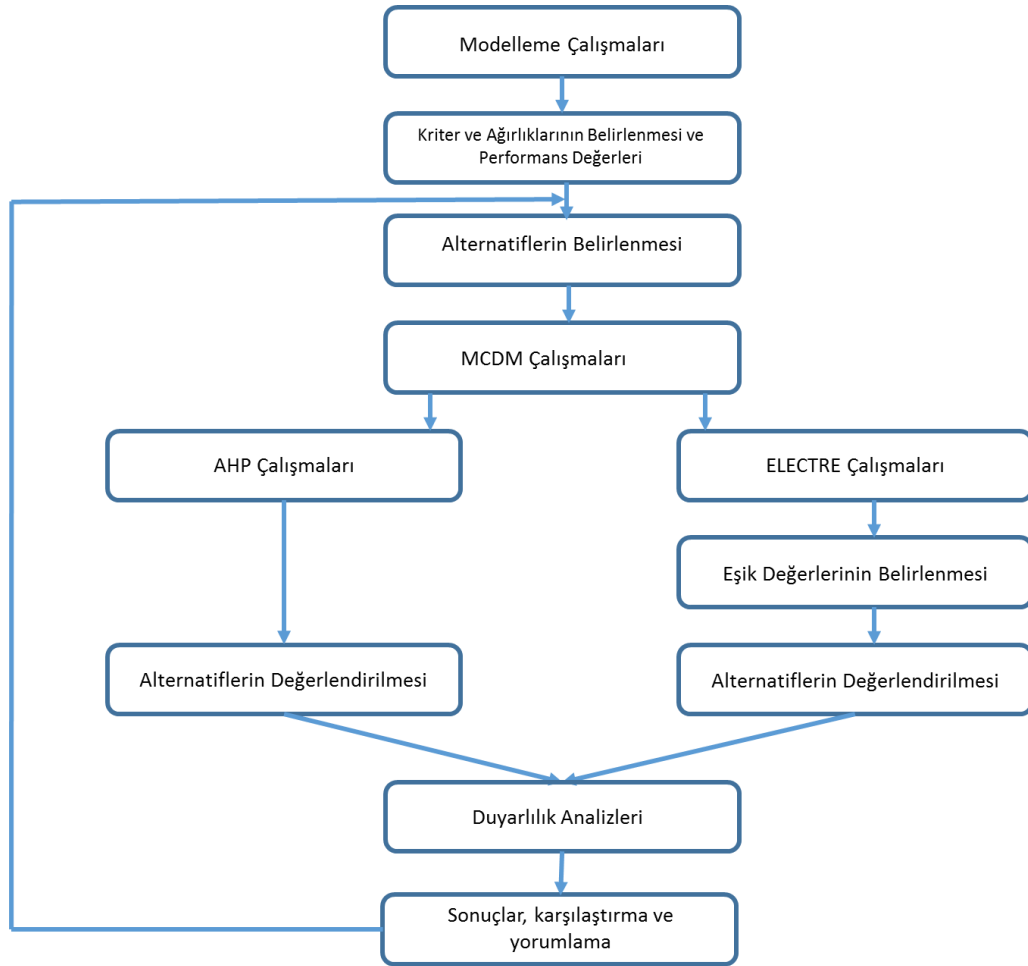
(b)

Şekil 4.8. ÇÖKV metodlarına ait hesaplama sayfaları (a) ve sonuç ekranları (b)

ÇÖKV çalışmalarında, karar vericileri tanımlamak çok önemli bir süreçtir. Karar verici bir kişi olabileceği gibi, alternatifler arasında nihai bir seçim yapacak bir grup da (kurul, komite vb.) olabilmektedir. Karar vericilerin, gerekli kararları

vermek için yeterli bilgi ve deneyime sahip olmaları istenmektedir (Ozkan, 2013). Bu tezde, farklı üniversitelerden (Anadolu Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi) hava kalitesi ve ÇÖKV çalışmalarında farklı çalışmaları olan uzmanlar, karar verici olarak görev almışlardır.

Alternatif ve kriterler, her iki istasyon yeri için aynı olmakla beraber ÇÖKV yöntemlerinden önce belirlenmiştir. Bu ÇÖKV çalışmasının akış diyagramı Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Gösterilen her bir basamak ilerideki bölümlerde açıklanmış ve tartışılmıştır.



Şekil 4.9. ÇÖKV çalışmasının akış diyagramı

4.6. Dış Hava Kalitesi İzleme

4.6.1. Otomatik örnekleyiciler (analizörler): çalışma prensipleri

Pasif ve aktif örnekleyicilerin kolay kullanımı, düşük maliyeti ve işletme giderleri gibi avantajları olsa da; otomatik örnekleme metodunda kirletici bileşenlerin saatlik veya daha kısa süreli analizleri yapılabilmektedir. Otomatik analizörler, ölçülen gazın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden yararlanarak sürekli olarak tayinlerine olanak sağlamaktadır. Örneklenen hava, gazın optik özelliğine göre doğrudan reaksiyon hücresine girmekte veya kimyasal ısıma ya da floresans ışığı üreterek kimyasal reaksiyon oluşturmaktadır. Işık dedektörü, ölçülecek bileşenin derişimi ile orantılı olarak elektriksel bir sinyal oluşturur, oluşturulan bu sinyal yine cihaz tarafından çözümlenerek ekrana yansıtılır ya da kayda alınır. Uzun süreler boyunca kayda alınan sıcaklık, basınç ve derişim gibi parametrelerin analiz sonuçları bilgisayar ortamına da aktarılabilir (Özden, 2005; Çolakel, 2009).

Bu yöntemle metodun doğruluğu, veri akışı, meteoroloji veya diğer faktörlerden kaynaklanan kirlilik episodlarının detaylı olarak izlenmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen verilerin doğruluğu ve güvenilirliğinin sürekliliğini sağlamak için Bölüm 4.6.'da açıklanan yüksek standartta bakım, kalibrasyon, işletim ve kalite kontrol işlemlerinin rutin olarak yapılması gerekmektedir.

Tüm bu gereksinimler otomatik örnekleme metodlarını en pahalı örnekleme metodu durumuna getirmektedir. Bunların dışında, otomatik analizörlerin kullanımında örnekleyicilere oranla daha çok teknik problemler yaşanmakta ve rutin işletme için deneyimli insanların çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Özden, 2005).

Yapılan bu tez çalışmasında kentsel ve kırsal hava kirliliği istasyonlarda ölçüm yapmak üzere, otomatik analizörler kullanılmıştır. Kullanılan analizörlere ve yardımcı ekipmanlarına ait açıklayıcı bilgiler aşağıda anlatılmıştır.

Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonlarında Çizelge 4.3'de yer alan analizörler kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonlarından yer alan analizörler

	SO₂	NO_x	O₃
Kırsal	Environnement AF22M	Environnement AC31M	Environnement 42M
Kentsel	Environnement AF21M	Thermo 42i	Thermo 49C

4.6.1.1. SO₂ analizörünün çalışma prensibi

Her iki hava kalitesi izleme istasyonunda kullanılan SO₂ analizörleri, UV floresans yöntemine göre çalışmaktadır. Bu yöntemle ait çalışma prensibi, cihazlarda aranacak minimum teknik özellikler ve kişisel notlar aşağı da açıklanmıştır.

Bu yöntemin esası, SO₂ moleküllerince UV ışınının (Zn-hollow katod lambası kullanılır) absorblanması ve belirli bir dalga boyunda uyarılmasıdır. Sonra daha düşük bir enerji seviyesinde, farklı dalga boyunda UV ışını vererek bozunmaktadır. Buradaki fluoresans ışığının şiddeti SO₂ derişimi ile orantılıdır (EnvironnementSA, 2002). Reaksiyon mekanizması aşağıda yer alan (4.1–4.4) denklemlerinde açıklanmıştır:

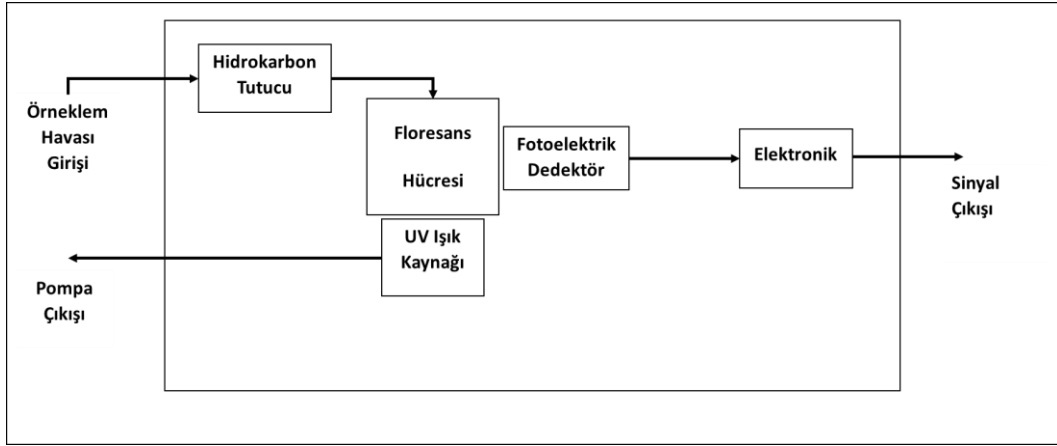


Burada,

1. Ultraviyole radyasyonu tarafından oluşturulan hv_1 enerji miktarını soğuran SO₂ moleküllerinin uyarılmış durumunu (4.1),
2. Uyarılmış olan moleküllerin eski normal hallerine dönerken boşalttıkları hv_2 enerji miktarını (4.2),

3. Uyarılmış moleküller tarafından verilen ışık ile parçalanmayı (4.3),
4. Diğer moleküller ile çarpışan uyarılmış moleküller ile enerji kaybını göstermektedir (4.4).

SO₂ analizörüne ait çalışma akım şeması Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Floresans SO₂ analizörü (Boubel ve ark., 1994)

Floresans SO₂ analizörü, hidrokarbon tutucu, floresans hücresi, UV ışık kaynağı, fotoelektrik dedektör, elektronik aksam vb. parçalardan oluşur. Hidrokarbon tutucu, çevre havası içindeki hidrokarbonu uzaklaştırır. Hidrokarbonu uzaklaştırılmış örneklem havasındaki SO₂, bundan sonra yayılan UV ışığı ile uyarılarak SO₂* radikali formuna dönüşür. SO₂ molekülleri, hidrokarbon tutucudan geçme süresince, herhangi bir değişikliğe uğramaz (Boubel ve ark., 1994; EnvironnementSA, 2002).

- Floresans hücresi, SO₂'nin floresansını etkili bir şekilde yayacak dizayna sahiptir.
- Uyarıcı UV ışık kaynağı, elektrik enerjisini boşaltarak UV üretir.
- Fotoelektrik dedektör, floresans hücresine bir optik filtre vasıtası ile bitişik olarak yerleştirilir. Optik filtre floresansı seçimli olarak, gerekli seviyedeki elektrik sinyallerine çevirir.

Cihazın ölçüm aralığı 0-1 ppm aralığında olması istenmektedir. Kullanıcı tarafından istenilen aralığa programlanarak ve otomatik olarak değiştirilebilmelidir. Bilgisayar haricinde sistemin dahili veri toplama ünitesiyle en az 15 gün verilerin

saatlik ortalamasını hafızasında tutabilmesi istenmektedir. Bahsedilen kriterlere uymayan cihazlar hava kalitesi ölçüm istasyonlarında kullanılmaması tercih edilmelidir.

Tercihen her cihazla birlikte minimum 10 lt. 150 bar basınçlı alüminyum tüp içerisinde sertifikalı SO₂ kalibrasyon gazı, paslanmaz çelik regülatör olmalıdır. Yapılan bu çalışma da ise kurulan her iki istasyona tüpler ve yanındaki ekipmanları korunaklı ve kontamine (hortumların uçları kapatılarak dışarıdan gelecek kirleticilere karşı korumalı) olmayacak şekilde araçlarla taşınarak kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan SO₂ kalibrasyon gazının derişimi, uluslar arası izlenebilir sertifikalı, 1 ppm'den az olmalıdır (çalışmada kullanılan gaz derişimleri 516 ppb ve 675 ppb'dir).

4.6.1.2. NO_x analizörünün çalışma prensibi

Her iki hava kalitesi izleme istasyonunda kullanılan NO_x analizörleri, kimyasal ışımaya (kemilüminesans) yöntemine göre çalışmaktadır. Havada azot monoksit, ozonla reaksiyona girdiği zaman, azot dioksitin normal formu ve uyarılmış formu oluşmaktadır. Uyarılmış azot dioksit, temel düzey seviyesine döndüğü zaman, ışın yaymaktadır. Azot monoksit derişimi, bu ışımaya yoğunluğu ölçülerek tayin edilebilir. Eğer hava örneği, bir dönüştürücüden geçirilerek, azot dioksit azot monoksite dönüştürülürse; azot oksitlerinin (azot dioksit ve azot monoksit) derişimi, bu ışımaya yoğunluğu ölçülerek tayin edilebilmektedir. Örneklem havasındaki azot dioksit derişimi, iki ölçüm arasındaki farktan hesaplanarak bulunmaktadır (EnvironnementSA, 2000; ThermoScientific, 2006).

Azot monoksit ve ozon arasındaki reaksiyon sonucu elde edilen emisyon spektrumu, 600 ile 3,000 nm. dalga boyu aralığında elde edilir. En büyük dalga boyu 1,200 nm civarında oluşmaktadır. Diğer kimyasal ışımaların etkileri, fotoelektrik sensör içinde bir filtre kullanılmasıyla bertaraf edilebilir. Foto elektrik sensörler de foto multiplier tüp kullanırlar; ancak foto elektrik yüzeyin karakteristiklerinden dolayı, tayin için elde edilebilecek dalga boyu aralığı daha dardır (600-900 nm ye kadar). Bundan dolayı, bazı izleme sistemleri, silikon foto diyotlar gibi daha geniş dalga boyunda ve daha hassas foto elektrik malzemeler kullanmaya başlamıştır. Çünkü azot monoksit ve azot dioksit, ayrı ayrı

ölçülmelidir. Farklı ölçüm yöntemlerinde akış hattını kontrol eden bir valf, optik yol valfi ve iki akış hattı ile iki optik hat bulunur. Bu yöntemlerin her birinde, geçişi seçen valf ile veya optik hattı ayarlayan kıyıcıda kararlılık problemi bulunmaktadır.

Standart gaz olarak azot monoksit kullanılarak kalibrasyon yapılır. Bundan dolayı azot dioksitin azot monoksite dönüşüm verimi %100 ün altında ise, ölçülen azot dioksit derişimi de aynı oranda düşer.

Bu sistemde iki tip dönüştürücü mevcuttur:

- Termal reaksiyon dönüştürücüsü: Azot dioksiti 600-800 °C’de parçalar.
- Kimyasal reaksiyon dönüştürücüsü: Grafit, molibden, tungsten, metal impregne edilmiş karbon veya karbona benzer diğer indirgeyiciler kullanılarak azot dioksiti 100-400 °C’de indirger.

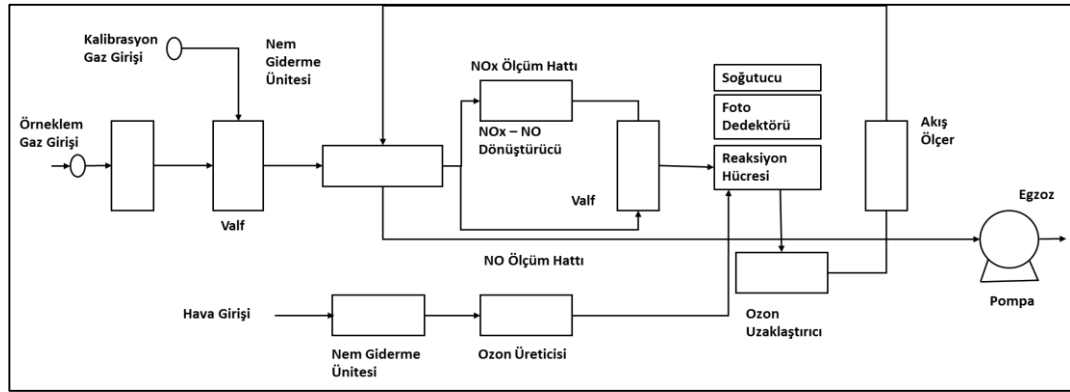
Sıcaklık 400 °C veya üzerine çıktığı zaman amonyak yükseltgenir ve girişim etkisine sebep olan azot monoksit üretilir. Bu sebeple 300 °C veya daha düşük sıcaklıkta karbonlu maddeler kullanan kimyasal reaksiyon dönüştürücüsü kullanılır. Kimyasal reaksiyon dönüştürücüleri, azot dioksitin indirgenmesi işleminde, kendisi yükseltgenir. Bundan dolayı prensip olarak her 12 ayda bir değiştirilmelidir. Ancak, azot dioksit derişiminin yüksek olduğu yerlerde kullanılması durumunda, dönüştürücünün değişme sıklığı da artar. Kesin değişim sıklığı, uygun bir dönüştürücünün dönüştürme veriminin kontrol edilmesiyle belirlenmelidir. Azot oksitlerinden başka diğer azotlu bileşiklerin de (PAN gibi), dönüştürücüde azot monoksite dönüştürüldüğü ve girişim etkisine sebep olduğu unutulmamalıdır (Jacob, 1999).

Nem, azot monoksit ve ozon arasındaki reaksiyon sonucu oluşan kimyasal ışımayı söndürerek, negatif bir girişime neden olur. Bu girişimin derecesi, reaksiyon hücresi içindeki basınç ve akış hızına bağlı olarak değişir. Eğer kalibrasyon gazı ve ölçülen havanın içerdiği su miktarı arasında büyük bir fark varsa, ölçüm etkilenmektedir. Bu sebeple, izleme sistemine yarı geçirgen bir membran filtre, nem kontrol edici veya örneklem havası içindeki nem miktarını sürekli sabit tutucu gibi bir düzenek yerleştirilir (Jacob, 1999; Nevers, 2000)

Reaksiyon mekanizması aşağıda yer alan (4.5–4.7) denklemlerinde açıklanmıştır:



NO_x analizörüne ait çalışma akım şeması Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Kimyasal ışma yöntemi (Boubel ve ark., 1994; EnvironnementSA, 2000)

Ticari cihazların çoğu, partiküler filtre, termal konverter, O₃ jeneratörü, reaksiyon hücresi ve vakum pompası ekipmanlarını içermektedir.

Kullanılan NO kalibrasyon gazının derişimi 300 ppb'dir.

4.6.1.3. O₃ analizörünün çalışma prensibi

Çevre havası içindeki ozon derişimlerini, 254 nm. dalga boyundaki UV ışınlarının ozon tarafından absorplanması prensibine dayanır (ThermoScientific, 2000; EnvironnementSA, 2004).

UV fotometrik yöntem, yaygın hava kirletici parametrelerin hiçbirinden etkilenmez. Örneklem havası, absorbsiyon hücresi boyunca geçirilir. Valf örneklem havasının hücreye dolması için açılır. Ozon derişimi Beer-Lambert Kanunu (Bkz. Denklem 4.8) uyarınca hesaplanır (Jacob, 1999).

$$O_3(ppm) = \frac{10^6}{KL} * \log \frac{I_0}{I} * \frac{760}{P} * \frac{T}{273} \quad (4.8)$$

Burada:

K : absorpsiyon sabiti = $134 \text{ cm}^{-1} \text{ atm}^{-1}$;

I : Geçen ışın miktarı;

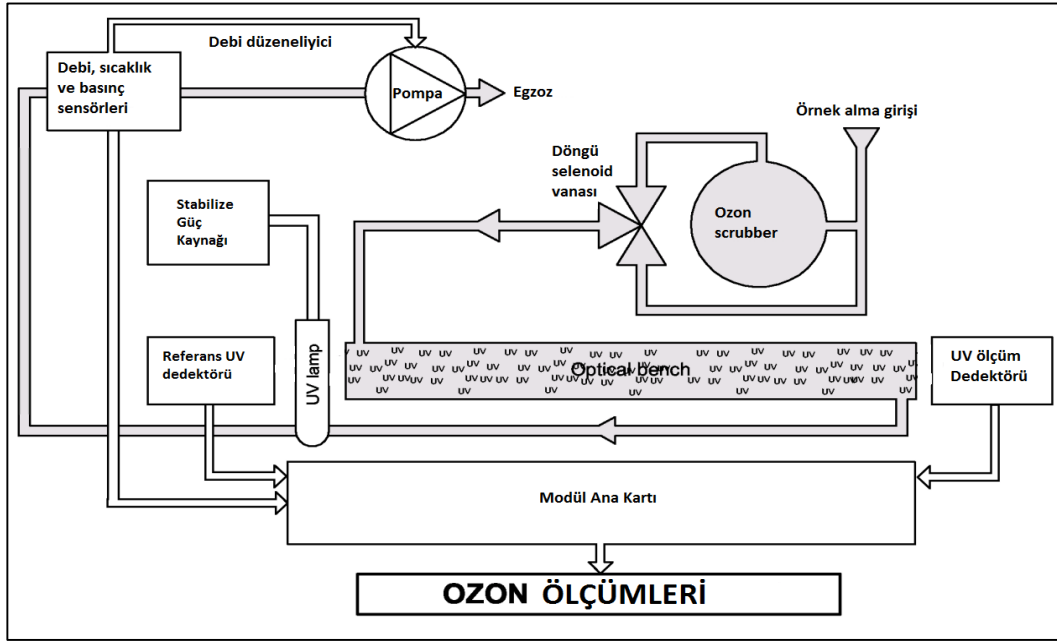
I_0 : Numune ölçümünden önceki ışın miktarı;

L : Hücre uzunluğu (cm.);

T : Hücre çıkış sıcaklığı;

P : Hücre çıkış basıncı (760 mm cıvaya düzeltilmiş)

UV fotometrik ozon analizörü, filtre, ozon tutucu, üç yollu valf, UV absorblama hücresi, UV kaynak lambası, dedektör, akış ölçer, emici pompa gibi bölümlerden oluşmaktadır. Ultraviyole fotometrik yönteminin çalışma şeması Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. UV fotometrik yöntemi analizörü (ThermoScientific, 2000; EnvironnementSA, 2004)

O_3 analizörünün kalibrasyonunda diğer cihazların aksine dahili O_3 kalibrasyon gazı ile değil, analizörün içerisinde yer alan dahili ozon üreticisi ya da kalibratör, pompa ve sıfır hava filtreleri yardımıyla istenilen derişimlerde O_3 üreterek kalibrasyon işlemini gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken nokta ise analizör içerisindeki dahili ozon üreticisinin ya da kalibratör, pompa ve sıfır hava filtreleri yardımıyla üretilen ozonun istenilen derişimde

üretildiğinden emin olunmasıdır. Bu kapsamda, ölçüm yapmaya başlamadan önce analizörün içerisindeki dahili ozon üreticisinin ya da kalibratörün doğru ölçüm yapıp yapmadığını test etmek gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada, istenilen ozon seviyeleri (çalışmada üretilen gaz derişimi 139 ppb'dir) kalibratör, pompa ve sıfır hava filtreleri yardımıyla üretilmiştir. Ayrıca, kalibrasyon işlemi sırasında dikkat edilmesi gereken bir nokta ise, örnekleme havasının alındığı kısımda yer alan ve koruma amaçlı takılan teflon filtre, ozon gazını belirli bir oranda tutmaktadır. Ozon analizörünün filtresini değiştirdikten sonra yüksek ozon derişimlerinde kalibrasyon gazı vererek yeni takılan bu filtreyi ozona doyurmalı ve dolayısıyla cihaz ölçüm moduna alındığında havadan gelecek olan ozonu tutmamalıdır.

4.6.2. Pasif örnekleyciler

Günümüzde pasif örnekleme gibi ucuz, yoğun insan gücü gerektirmeyen ve işletimi kolay yöntemler; iş yeri ortamı, iç ortam ve bölgesel ölçekli açık ortam hava kalitesinin izlenmesinde önem kazanmaktadır (Özden, 2005). Ayrıca, pasif örnekleycilerin kullanımı, uzun süreli ve farklı noktalarda eş zamanlı ölçümlerin gerçekleştirilmesi, hava kirliliği modellenmesine yönelik verilerin üretilmesi gibi çalışmalara da olanak sağlamaktadır (Hangartner, 2000). Pasif örnekleyciler, atmosferden gaz örneklerini herhangi bir aktif hava hareketine gereksinim olmadan, moleküler difüzyon kontrolündeki bir hızda toplayabilme özelliğine sahip ekipmanlardır. Böylelikle herhangi bir elektrik gücü veya pompa gereksinimi duyulmaksızın atmosferdeki kirlenici gazlar, moleküler difüzyon yoluyla belli bir hızda örnekleycinin kapalı ucunda yer alan sorbent üzerinde tutulmaktadır (Özden, 2005).

Pasif örnekleme metodu, gaz moleküllerinin örneklenen ortamdaki toplama ortamına doğru serbest akışına dayanmaktadır. Bu akış, gaz bileşeninin iki ortam arasındaki kimyasal potansiyel farklılığından kaynaklanmaktadır. Gaz moleküllerinin bir ortamdan diğerine net akışı, sistem dengeye ulaşmaya veya örnekleme işlemine son verilinceye kadar devam etmektedir. Dengeye ulaşmış bir örnekleyci tarafından toplanan bileşen miktarı zamanla değişmez ve buna bağlı olarak örnekleyci ortamındaki bileşen derişiminde de herhangi bir derişim söz konusu olmaz (Hangartner, 2000).

Kullanıcı tarafından örnekleme işlemine son verilinceye kadar örneklemenin devam ettiği durumda, örnekleyicide toplanan bileşen miktarı, bileşenin örneklenen ortamdaki derişimi, örnekleme hızı ve örnekleme süresine bağlıdır. Örnekleme hızı ve atmosferik bileşen derişimi bilindiği takdirde zaman ağırlıklı ortalama derişim değeri kolaylıkla hesaplanabilir.

Çalışmada kullanılan pasif örnekleyiciler, badge tipi örnekleyicilerdir. İstasyonlarda otomatik analizörler ile eş zamanlı ölçümü yapılan pasif örnekleyicilere ait fotoğraflar Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Pasif örnekleyicilere ait fotoğraflar

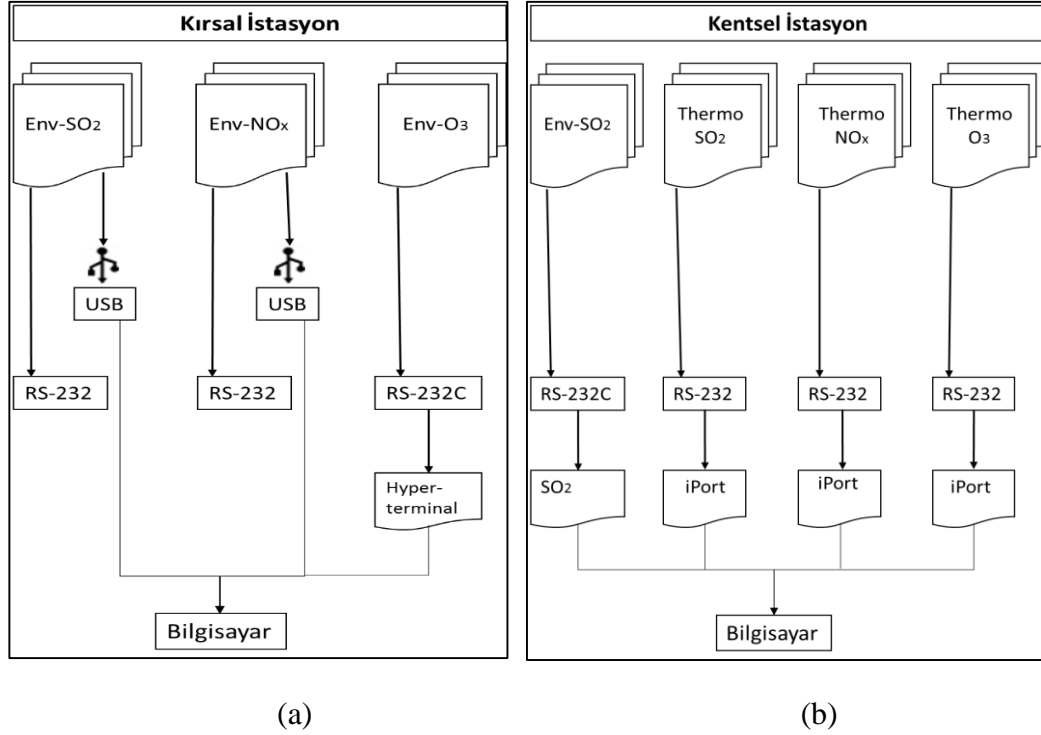
4.7. Veri alma ve gerekli programlar

İstasyonlardaki otomatik analizörler çalıştırılmaya başladığı tarihten itibaren cihazlar saatlik olarak veri toplamaktadır. Proje süresinde bir yıl boyunca işletilecek olan istasyonlardan alınan veriler ile çeşitli yorumlamalar yapılmıştır.

Toplanan bu verilerin alınması için istasyonlarda yer alan her bir analizöre ait farklı veri alma yöntemleri, araçları ve programları gerekmektedir.

İstasyonlarda yer alan analizörler farklı marka ve modellerde olduğundan dolayı her birinden veri alma yöntemleri de farklılık göstermektedir. Örneğin, kentsel istasyonda çalıştırılan Environnement S.A. marka, AF21 numaralı SO₂ analizörü eski tip bir analizör olduğundan veri saklama hafızası da düşüktür. Maksimum 14 günlük ve yarım saatlik aralıklarla veri kaydeden analizör, aynı zamanda dahili bir yazıcı ile de kayıt yapmaktadır. Aynı istasyonda yer alan ikinci bir SO₂ analizörü, NO_x ve O₃ analizörleri ise RS-232 iletişim kablo bağlantısı ve uzaktaki bir bilgisayara metin ve veri dosyaları göndermek ve almak için kullanılan iPort yazılımı yardımıyla veriler bilgisayar ortamına alınabilmektedir. Kırsal istasyonda ise SO₂ ve NO_x analizörleri USB bellek yardımıyla doğrudan alınabilmekte, O₃ analizöründen ise RS-232C iletişim kablo bağlantısı ve Hyperterminal yazılımı (uzaktaki bir bilgisayara metin ve veri dosyaları göndermek ve almak için kullanılan yazılım) yardımıyla veriler alınabilmektedir.

Rutin olarak, iki hafta da bir yapılan istasyon ziyaretlerinde, kalibrasyon işlemlerinin yanı sıra analizörlerin her birinden de veriler alınmıştır. Veri kaybı olmaması açısından tercihen birden fazla bilgisayarda depolanmıştır. Bilgisayar, analizör, USB bellek vb. cihazlardan kaynaklanabilecek problemlerde veri kaybı olmaması açısından veriler sürekli olarak alınmıştır. Kırsal ve kentsel istasyonlardaki her bir cihazdan veri alınması için gerekli iletişim kabloları, yardımcı cihazlar ve gerekli yazılımlar Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Kırsal (a) ve kentsel (b) istasyonuna ait veri alma akım şeması

4.8. Kalite Kontrol

Bu bölümde istasyonlarda gerçekleştirilen kalite kontrol çalışmaları anlatılmıştır.

4.8.1. Rutin kalite kontrol proseleri

4.8.1.1. Ölçüm noktası alt yapısı ve rutin işletme

Ölçüm işlemine başlamadan önce istasyonun işletilmesi için gerekli tüm süreçler (kabinin konulacağı alanın düz olması için beton dökülmesi, kabinin ölçüm yapılacak noktaya taşınması, kabin etrafının güvenlik için çitlerle sarılması, ekipmanların taşınması, cihazlar ve diğer elektronik aletler için elektrik hatlarının bağlanması ve gerekli bağlantıların yapılması, cihazlara uygun çalışma koşullarının sağlanması için klimanın kabine yerleştirilmesi vb.) tamamlanmıştır. Aşırı sıcaklık veya soğukta, cihaz fonksiyonlarında bozulma olduğundan dolayı kabin içerisi

klima ile ısıtılmış ya da soğutulmuştur. Ekipmanların bulunduğu ortamın termal kontrolünü dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm işlemine başladıktan sonra örneklem konfigürasyonu; ölçülen SO₂, NO_x ve O₃ ve PM derişimleri ve dağılımının, örneklem noktasındaki SO₂, NO_x ve O₃ ve PM ve dağılımını doğru olarak temsil edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Toplanan tüm bu verilerin bütünlüğünü sağlamak ve toplanan veri miktarını arttırmak için çeşitli işlemler gerçekleştirilmiş olup aşağıdaki başlıklarda anlatılmıştır.

İşletmeye yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalar, alınan kişisel notlar ile düzenli olarak elektronik ortam üzerine geçirilerek tamamlanmıştır. Kalite kontrol prosedürleri, kullanılan örneklem yöntemi (cihaz ve filtre kağıdı tipi gibi), akış kontrol prosedürleri, kalibrasyon prosedürleri (sıfır ve span), hatalara karşı uygulanan işlemler, cihazların alarm durumları, bakım prosedürleri, örneklem ve ölçüm değerinin okunması bu işlemlere tabidir.

4.8.1.2. Kalibrasyon işlemi için yardımcı cihaz ve ekipmanlar

İstasyonlarda hava kalitesi ölçümleri için kullanılan analizörlerin yanı sıra analizörlerin kalibrasyonu için gerekli olan farklı yardımcı cihaz ve ekipmanlar da bulunmaktadır. Bu yardımcı cihaz ve ekipmanlar aşağıda sıralanmıştır.

- **Kalibratör:** Çalışmada, Thermo Environmental 146C dinamik gaz kalibratörü kullanılmıştır. Kalibratör, istenilen seviyelerde doğru ve kesin olarak ozon, karbon monoksit, metan olmayan hidrokarbonlar, kükürt dioksit, azot oksit ve azot dioksit gazlarının seyreltilmesini sağlayabilmektedir. Cihaz, sıfır noktası, bir noktalı kalibrasyon ve çok noktalı kalibrasyon seçenekleri ile çeşitli gaz seviyelerinde ölçüm cihazlarını kalibre etmeye imkan tanımaktadır. Cihazın dizaynı, sıfır noktası, bir noktalı kalibrasyon ve çok noktalı kalibrasyon seçenekleri için EPA standartlarına göre hazırlanmıştır. Cihaz beş farklı seviyede ozon da üretmektedir.
- **Kompresör:** Çalışmada kullanılan kompresör, dinamik gaz kalibratör cihazı için gerekli olan hava basıncının belirli bir değerinde olmasını

sağlamak için kullanılmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda kullanılmış olan bir adet kompresör ve uygun şartları sağlayacak yeni kompresör ile cihazlara gerekli hava beslemesi yapılmıştır.

- **Kalibrasyon tüpleri:** Bölüm 4.6'da açıklanan kalibrasyon tüpleri, analizörlerin kalibrasyonu sırasında, span noktasının tanıtılmasında kullanılmaktadır. Analizörlerin doğru ölçüm yaptıklarından emin olmak için gerçekleştirilen bir işlemdir. Kullanılan kalibrasyon gazının sertifikalı olup saflık derecesine özellikle dikkat edilmelidir. Ayrıca, bu kalibrasyon gazlarının son tüketim tarihleri bulunduğundan, çalışmalar sırasında bu sürelerle özen gösterilmelidir.
- **Sıfır havası üretmek için kullanılan aktif karbon, purafil ve silika jel kolonları:** Kalibrasyon işlemi sırasında, hava içerisindeki farklı kirleticileri (NO, NO₂, SO₂, O₃) aktif karbon, purafil ve silika jel üzerinde tutarak, analizörlere sıfır noktası için gerekli temiz hava üretmekte kullanılmaktadırlar. Cihazların kalibrasyon sıklığına göre kullanım ömürleri değişmektedir. Kirleticiler bu kolonlar üzerinde tutuldukça renkleri değişmekte ve bu süreçte değiştirilmeleri gerekmektedir. Değiştirilmediği takdirde sıfır havası için gerekli temiz hava üretilmesi yerine, içerisinde bulunan kirletici hava cihazlara verilmiş olur.

4.8.1.3. Ekipman kalibrasyonu ve bakımı

Hava kalitesi izleme istasyonlarında uygun bakım yöntemlerinin önemi göz ardı edilemez bir süreçtir. Sarf malzemelerinin değiştirilmesi (toz tutucu filtre, kalibrasyon gazları vb.), rutin kontroller vb. gibi tüm kontroller için bir bakım tablosu oluşturulmalıdır. Veri işletimi, raporlama ve negatif ve sıfır verilerinin ayıklanması başlığı altında açıklanan bu tablo, tez içerisinde yer alan Ek-7'de gösterilmiştir. Doğru ve yeniden üretilebilir hava kalitesi verilerinin elde edilebilmesi için analizörlerin uygun bir şekilde kalibre edilmesi gerekmektedir.

Analizörlerin kalibrasyonunda iki noktalı kalibrasyon uygulanmakta olup, sıfır noktası ve span noktası cihazlara tanıtılmalıdır. Bu iki noktanın tanıtılması

amacıyla analizöre derişim değeri önceden bilinen gaz gönderilmeli ve bu gazlardaki derişimin analizörle görüntülenmesi sağlanmalıdır. Sıfır ve span noktasının okutulup analizöre tanıtılması aşağıda anlatılmaktadır.

Analizörlerin genel kontrolü ve kalibrasyon işlemi için sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmaktadır.

- **Kompresörün açılması:** Kompresör, sistem için gerekli olan hava basıncının belirli bir değerde olmasını sağlamaktadır. Özellikle sıfır hava jeneratörü ve gaz kalibratör cihazı için gerekli olan hava kompresörün çalıştırılmasıyla sağlanmaktadır.
- **Sıfır hava jeneratörünün açılması (ya da sıfır hava sağlanması için aktif karbon, purafil ve silika jel kolonları):** Kompresörden gelen hava, sıfır hava jeneratörünün arkasında bulunan purafil ve aktif karbon kolonlarından geçirilir. Purafil, NO'yu NO₂'ye yükseltir. Bu işlem, hava içerisindeki kirletici bileşenlerin aktif karbonda adsorplanmasını sağlamaktadır.
- **Sıfır noktasının okutulup tanımlanması:** Sıfır noktası kalibrasyonu için örnekleme modundan sıfır moduna geçilmelidir. Bu işlem sırasında analizör otomatik olarak örnek girişinin olduğu hattın vanası kapatılmalı ve sıfır havanın gelmekte olduğu hattın vanası cihazın örnekleme girişine bağlanmalıdır. Analizör sıfır moduna geçildikten sonra sıfır havasını okumalı ve ekranda görülen değer sabitlenmelidir. Bu değer mümkünse sıfır, veya sıfıra çok yakın olmalıdır.
- **Span noktasının okutulup tanımlanması:** Span noktası derişimi bilinen kirletici gazın analizöre okutulması ile elde edilen değerdir. Genelde sertifikalı bir kalibrasyon gazı tüpünden alınan gazın seyreltilmesiyle elde edilerek cihaza gönderilmektedir. Bu çalışmada ise düşük derişimli gaz kullanılarak, seyreltilmeden cihaza verilmiştir. Bu işlemde planlanan amaç: kirletici gaz derişimi bilinen havanın analizöre okutulup, ekrandan okunan değer ile cihaza gerçekte okutulan derişim arasındaki farktan analizördeki sapma oranının tayin edilmesi ve analizöre okutulan gerçekte değerin panel yardımıyla girilerek analizöre tanımlanmasıdır. Böylece sapma, minimuma indirilmiş olur.

4.8.1.4. Veri işletimi, raporlama ve negatif ve sıfır verilerinin ayıklanması

İstasyonların işletildikleri süre boyunca analizörler de toplanan verilerin negatif ve sıfır değerlerinden ayıklanması hava kalitesi izleme istasyonlarının en önemli süreçlerinden bir tanesidir.

26 Aralık 2013 tarihinden itibaren sürekli olarak hava kalitesi izleme istasyonlarına iki haftalık süreçlerde ziyaretler gerçekleştirilmiştir. Her iki istasyondaki analizörlerde depolanan veriler, saatlik ortalamalar şeklinde istasyonlardan alınarak, incelenmekte ve sonrasında validasyonu gerçekleştirilmektedir. Validasyonu tamamlanan veriler kullanılarak günlük, aylık ve yıllık raporlama çalışmaları yapılmaktadır. Saatlik, günlük, aylık ve yıllık ortalamalar hesaplanarak grafikler çizilerek, gerek ülkemiz gerekse Avrupa Birliği mevzuatında belirtilen sınır değerlerin aşıp aşılmadığı kontrol edilmektedir.

Sonuçların ve grafiklerin yorumlanması sürecinde, veri seti içerisinde yer alan kalibrasyon yapılan döneme ait değerler, uç (peak) değerleri, analizörlerin arızalı olduğu dönemlere ait veriler ve sıfır değerlerinin bilinmesi ve dikkatli bir şekilde derlenmesi önemlidir. Negatif ve sıfır değerlerinin ayıklanması da bu önemli süreçlerden bir tanesidir.

İstasyonlara gidildiğinde analizörlerin genel kontrolleri aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

- Acil alarm durumlarının incelenmesi,
- Klima sıcaklık kontrolü,
- Meteorolojik verilerin kontrolü,
- Kalibrasyon işlemleri,
- Depolanan verilerin alınması.

Yukarıda bahsedilen işlemler istasyon ziyaretleri sonrasında istasyon kontrol çizelgelerine kaydedilmektedir. Örnek istasyon kontrol çizelgesi tez içerisinde Ek-7'de gösterilmiştir.

4.8.2. Analizör verilerinin kalite kontrolü ve denetimi

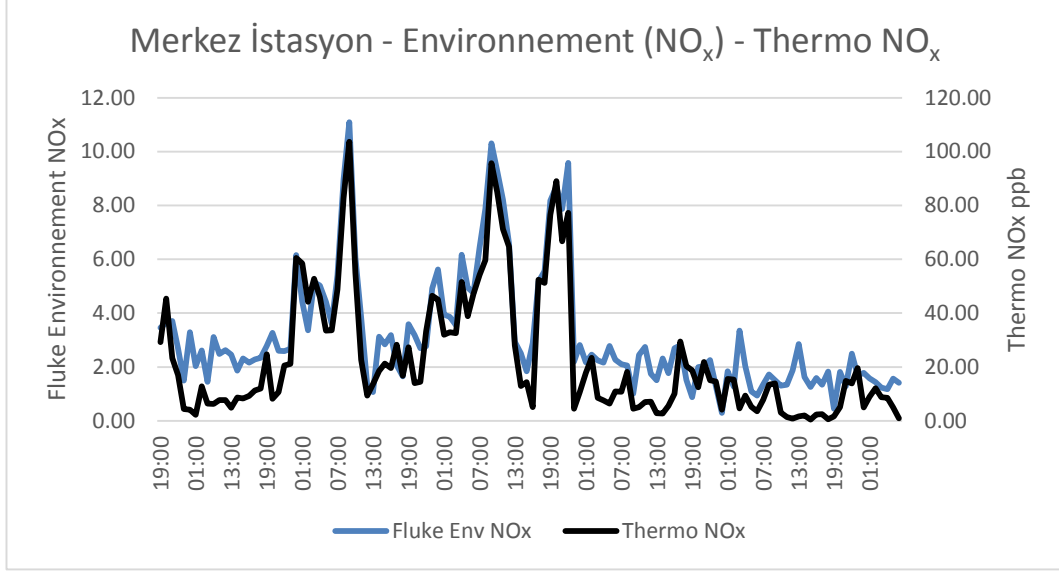
Ölçüm istasyonlarında kullanılan analizörler spektroskopik prensipler uyarınca çalıştığından rutin kalibrasyon ve kalite kontrol işlemlerinin yapılması oldukça önemlidir. İstasyonlara her iki haftada bir yapılan rutin ziyaretlerde cihazların kalibrasyonları kontrol edilmiş ve gerekli durumlarda tekrarlanmıştır. Öte yandan her iki istasyonda var olan analizörler aynı noktada belirli süre aralıklarında birlikte çalıştırılarak da test edilmişlerdir. Bu testlere ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

4.8.2.1. NO_x (Environnement NO_x – Thermo NO_x) derişimlerinin kalite kontrolü

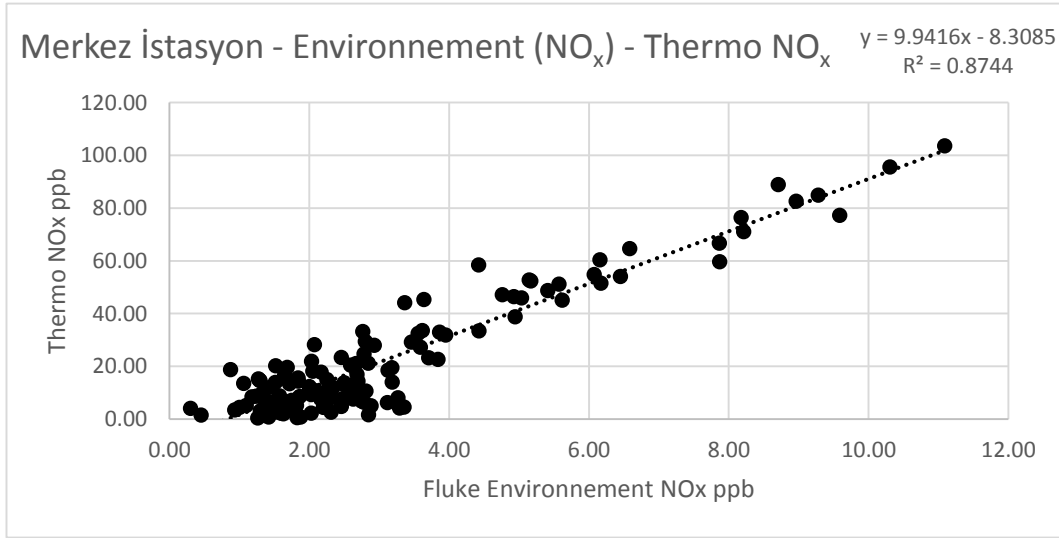
Kentsel hava kalitesi istasyonunda bulunan ve kalibrasyonları yapılmış olan Environnement NO_x ve Thermo NO_x analizörlerinin, 21.01.2014-27.01.2014 tarihleri arasında eş zamanlı olarak ölçümleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen saatlik veriler aşağıda gösterilmiştir. Aynı zamanda veri setlerine ait dağılım grafiği de hazırlanmıştır.

Environnement NO_x analizörü analog çıkışlı olduğundan hafızasında kaydedilen verilerin cihazdan alınabilmesi için Fluke multimetre cihazı kullanılmıştır. Sinyaller, cihazın analog çıkışına yerleştirilen proplar yardımıyla multimetre içerisinde veri kaydedicisine aktarılmıştır. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görebileceğiniz gibi Fluke multimetre cihazından alınan veriler Thermo'da ölçülen NO_x derişimlerinden 10 kat daha düşük olduğu görülmektedir. Bu farkın sebebi, Fluke multimetre cihazından alınan verilerin milivolt olarak ölçülmesi ve karşılaştırmanın bu değerlerle yapılmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kaydedilen Environnement NO_x ve Thermo NO_x derişimlerine ait zaman serileri Şekil 4.15'de, dağılım grafikleri ise Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Merkez istasyonda kaydedilen Environnement NO_x ve Thermo NO_x derişimlerine ait zaman serileri



Şekil 4.16. Environnement NO_x ve Thermo NO_x derişimlerine ait dağılım grafikleri

Statgraphics istatistiksel paket programı kullanılarak, doğrusal regresyon analizi sonuçlarından elde edilen Environnement NO_x ve Thermo NO_x derişimlerine ait varyans analizi sonuçları da Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Environnement NO_x ve Thermo NO_x verilerine ait varyans analizi sonuçları

Varyans analizi					
Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareli Ortalama	F-Oranı	P-Değeri
Model	524.232	1	524.232	863.85	0
Kalan	75.8567	125	0.606853		
Toplam	600.089	126			

Varyans analizi tablosundaki P-değeri <0.05, %95 güven aralığında Environnement NO_x ve Thermo NO_x derişimleri arasında istatistiksel olarak bir korelasyon görülmektedir.

Fluke multimetre cihazından ve Thermo analizöründen alınan NO_x verilerine doğrusal regresyon uygulandığında istatistiksel olarak ilişkili olduğu görülmüştür. Thermo cihazından alınan NO_x verileri ile Environnement NO_x veri setinin tek yönlü ANOVA testi de uygulanmıştır. Yapılan bu testin sonuçları aşağıda açıklanmıştır. Environnement NO_x ve Thermo NO_x derişimlerine ait sonuçlar Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Environnement NO_x ve Thermo NO_x derişimlerine ait tek yönlü ANOVA testi sonuçları

Environnement NO _x ve ThermoNO _x için ANOVA Tablosu					
Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareli Ortalama	F-Oranı	P-Değeri
Between groups	599.204	125	4.79363	5.42	0.3271
Within groups	0.88445	1	0.88445		
Total (Corr.)	600.089	126			

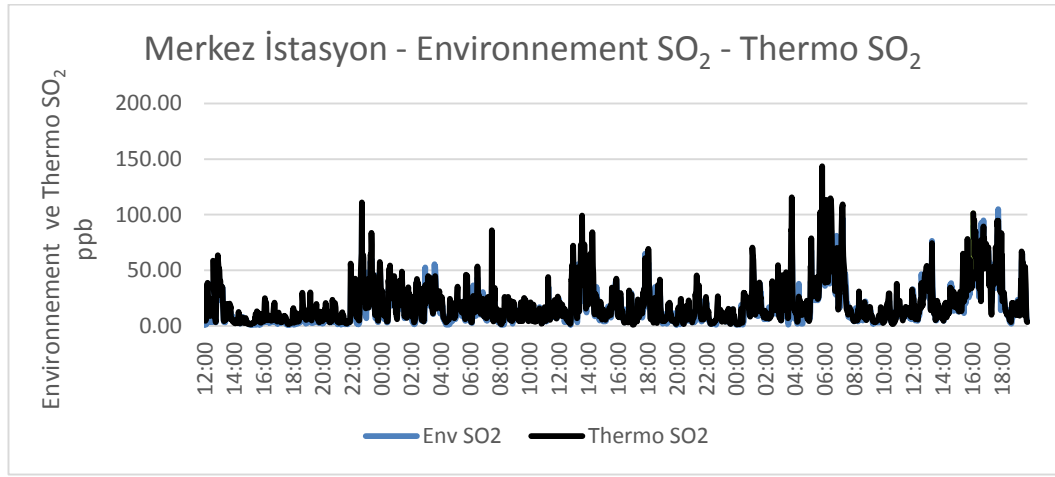
Environnement NO_x ve Thermo NO_x için hazırlanan ANOVA tablosunda, F-değerinin 5.42’ye eşit olduğu görülmektedir. F-değerine karşılık gelen P-değeri (0.3271) 0.05’ten büyük olduğundan dolayı, %95 güven aralığında Environnement NO_x ve Thermo NO_x derişimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur.

Bu istatistiksel uygulamalar sonucunda Environnement NO_x verileri, Thermo NO_x verileri ile mukayese edilerek kalite kontrolü gerçekleştirilmiştir.

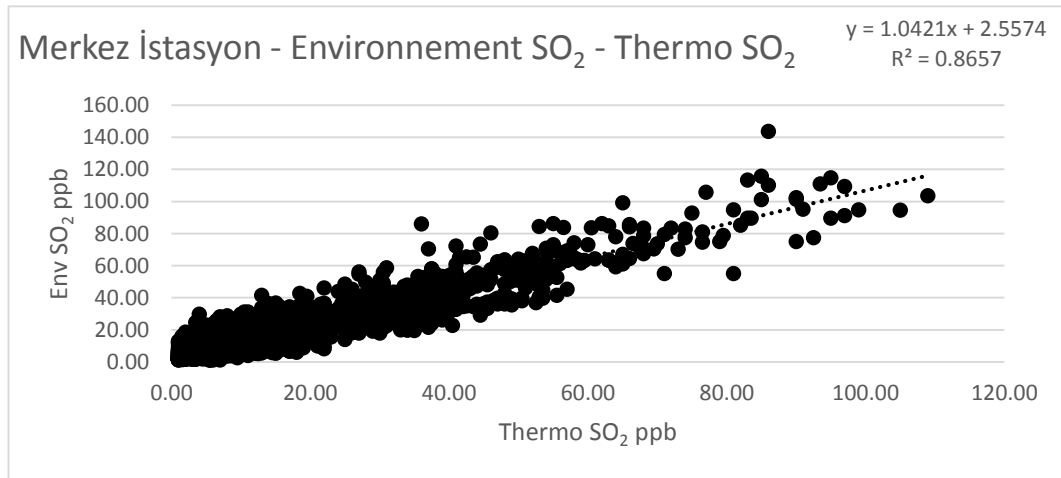
4.8.2.2. SO₂ (Environnement SO₂ – Thermo SO₂) derişimlerinin kalite kontrolü

Kentsel istasyonda bulunan ve kalibrasyonları yapılmış olan Environnement SO₂ ve Thermo SO₂ analizörleri, 20.10.2014-14.01.2015 tarihleri arasında eş zamanlı olarak ölçümler gerçekleştirmiş ve elde edilen saatlik sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Kaydedilen Environnement SO₂ ve Thermo SO₂ derişimlerine ait zaman serileri şekil 4.17’de, dağılım grafikleri ise şekil 4.18’de gösterilmiştir.



şekil 4.17. Merkez istasyonda kaydedilen Environnement SO₂ ve Thermo SO₂ derişimlerine ait zaman serileri



şekil 4.18. Environnement SO₂ ve Thermo SO₂ derişimlerine ait dağılım grafikleri

Statgraphics istatistiksel paket programı kullanılarak, doğrusal regresyon analizi sonuçlarından elde edilen Environnement SO₂ ve Thermo SO₂ derişimlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Environnement SO₂ ve Thermo SO₂ verilerine ait varyans analizi sonuçları

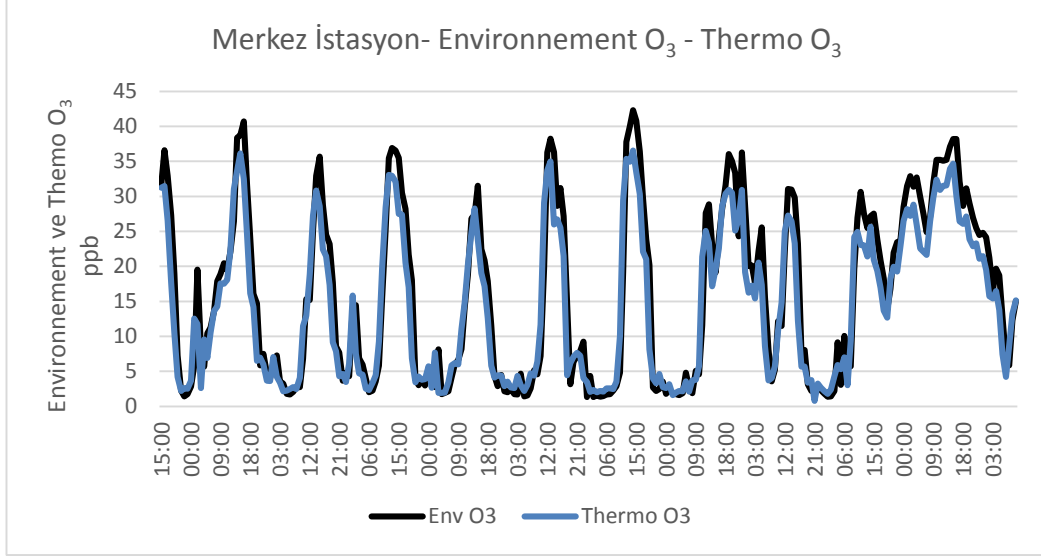
Varyans Analizi					
Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareli Ortalama	F-Oranı	P-Değeri
Model	487104	1	487104	13263.31	0
Kalan	75581.5	2058	36.7257		
Toplam	562686	2059			

Varyans analizi tablosundaki P-değeri <0.05, %95 güven aralığında Environnement SO₂ ve Thermo SO₂ derişimleri arasında istatistiksel olarak bir korelasyon görölmektedir.

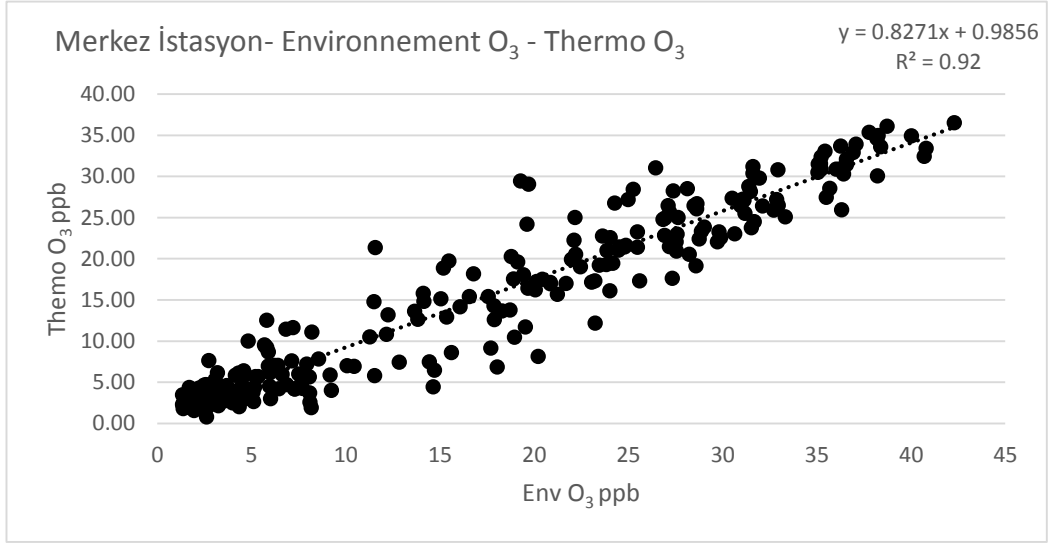
4.8.2.3. O₃ (Environnement O₃ – Thermo O₃) derişimlerinin kalite kontrolü

Kentsel istasyonda bulunan ve kalibrasyonları yapılmış olan Environnement O₃ ve Thermo O₃ analizörleri, 09.10.2014-20.10.2014 tarihleri arasında eş zamanlı olarak ölçümler gerçekleştirmiş ve elde edilen saatlik sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Kaydedilen Environnement O₃ ve Thermo O₃ derişimlerine ait zaman serileri Şekil 4.19’da, dağılım grafikleri ise Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Merkez istasyonda kaydedilen Environnement O₃ ve Thermo O₃ derişimlerine ait zaman serileri



Şekil 4.20. Environnement O₃ ve Thermo O₃ derişimlerine ait dağılım grafikleri

Statgraphics istatistiksel paket programı kullanılarak, doğrusal regresyon analizi sonuçlarından elde edilen Environnement O₃ ve Thermo O₃ derişimlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Environnement O₃ ve Thermo O₃ verilerine ait varyans analizi sonuç çizelgesi

Varyans Analizi					
Kaynak	Kareler Toplamı	Df	Kareli Ortalama	F-Oranı	P-Değeri
Model	36671.6	1	36671.6	2967.14	0
Kalan	3188.68	258	12.3592		
Toplam	39860.2	259			

Varyans analizi tablosundaki P-değeri <0.05 , %95 güven aralığında Environnement O₃ ve Thermo O₃ derişimleri arasında istatistiksel olarak bir korelasyon görölmektedir

5. SONUÇLAR

5.1. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak İstasyon Yerlerinin Belirlenmesi

İstasyonların yer seçimi, model sonucu oluşturulan haritalar ve bölgeyi tanıyan kişilerden alınan görüşler yardımı ile yapılmış olup kırsal ve kentsel istasyonların koordinatları belirlenmiştir. Bu başlık altında, istasyonların yer seçim işlemleri yapıldıktan sonra ÇÖKV metotlarından iki tanesi olan ELECTRE ve AHP yöntemleri ile karar verilen kırsal ve kentsel istasyonların yer seçimi sonuçlarının tutarlılıkları test edilmiştir. Kırsal ve kentsel istasyonu yer seçim sonuçları detaylı bir şekilde alt başlıklarda açıklanmıştır.

5.1.1. Kırsal ve kentsel istasyon yer seçimi ELECTRE sonuçları

Kırsal ve kentsel istasyonlar için hazırlanan performans matrisleri karar vericilerin tercihlerine göre hazırlanmış olup Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Kentsel ve kırsal istasyonlar için oluşturulan performans matrisleri

KIRSAL İSTASYON							
	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
R1	8	6	5	7	6	3	173
R2	8	4	3	4	4	1	141
R3	5	5	3	3	3	2	132
R4	6	1	1	3	2	1	129
R5	6	8	7	7	9	2	127
R6	5	8	9	9	8	6	134
R7	6	2	1	2	3	3	140

*Sayısal olmayan değerler 1–9 puan arasında ölçeklendirilmiştir. Artan öneme göre sıralama: Mükemmel=9; Çok iyi=8; İyi=7; Aşağı yukarı iyi=6; Orta=5; Biraz kötü=4; Kötü=3; Çok kötü=2; Berbat=1 ve Azalan öneme göre sıralama: Mükemmel=1; Çok iyi=2; İyi=3; Aşağı yukarı iyi= 4; Orta=5; Biraz kötü= 6; Kötü=7; Çok kötü=8; Berbat=9.

KENTSEL İSTASYON							
	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
U1	2	9	7	8	8	7	81
U2	8	7	4	7	6	7	88
U3	3	5	3	4	1	5	84
U4	8	6	4	3	2	7	88
U5	4	6	4	2	2	6	85

*Sayısal olmayan değerler 1–9 puan arasında ölçeklendirilmiştir. Artan öneme göre sıralama: Mükemmel=9; Çok iyi=8; İyi=7; Aşağı yukarı iyi=6; Orta=5; Biraz kötü=4; Kötü=3; Çok kötü=2; Berbat=1 ve Azalan öneme göre sıralama: Mükemmel=1; Çok iyi=2; İyi=3; Aşağı yukarı iyi= 4; Orta=5; Biraz kötü= 6; Kötü=7; Çok kötü=8; Berbat=9.

Kırsal hava kalitesi istasyonu için her bir kritere ait puan/değerler aşağıda açıklanmıştır:

K1 (Kirlilik Seviyesi): Kirlilik seviyesi değerlendirilirken AERMOD dağılım modeli ile oluşturulan SO₂ ve PM dağılım haritaları kullanılmıştır. Projenin ana hedefi termik santrallerin bölge hava kalitesine etkisini belirlemek olduğundan kırsal istasyon zaman zaman rüzgarların vasıtasıyla santrallerin etkisi altında olması istenmiştir. Bu doğrultuda R3 ve R6 noktaları 5, R4, R5 ve R7 noktaları 6 ve son olarak daha fazla kirliliğe maruz kalan R1 ve R2 noktaları 8 puan almıştır. Puanlama sisteminde kirlilik seviyesi için dikkat edilmesi gereken nokta kırsal istasyon için azalan yönde, kentsel istasyon için ise artan yönde bir puanlama olduğudur.

K2 (Güvenlik): Tercih edilecek istasyonların güvenliği oldukça önemli bir kriterdir. Bu kriter değerlendirilirken noktaların civarında yaşayan kişilerden görüş ve destek alınmış olup, R5 ve R6 noktaları Belediye tarafından işletilip sürekli koruma sağlandığı için 8, R1, R2 ve R3 noktalarının da güvenliği sağlanmakta fakat sürekli olarak bu destek sağlanamadığı için orta dereceli puanlar alırken, R4 ve R7 noktaları ise güvenliğin düşük olduğu noktalar olmuştur.

K3 (Elektrik Elverişliliği): İstasyonların içinde konumlandırılan ölçüm cihazları elektriğe ihtiyaç duyduğundan sabit ve stabil bir elektrik şebekesinin olması son derece önemlidir. Bu kapsamda R6 noktasında bulunan elektrik imkanının elverişliliği 9 puan alırken, R5 istasyonunda direğin mesafesinden dolayı 7 puan almış ve en elverişsiz noktalar olan R4 ve R7 noktaları ise 1 puan almıştır.

K4 (İkili Anlaşmalar): İstasyonlar Kütahya'da kurulacak olduğundan lojistik destek son derece önem arz etmektedir. Seçilecek istasyon yeri için doğrudan muhtarlık, belde, belediye ya da müdürlükler ile görüşülmüştür. İstasyon yerini kontrol eden mercinin çalışmalarını sürdürülebilirliğine etkisi göz önüne alınarak, R6 istasyonu bu kriterde tam puan almış, R1 ve R5 istasyonu ise 7 puanla bu istasyonu takip etmiştir. R7 noktasında ise ikili anlaşma yapacak bir mercii olmadığından 2 puan almıştır.

K5 (Personel Desteği): İstasyonlar kurulduktan sonra, istasyon içerisinde yer alan farklı hava kalitesi ölçüm cihazlarının kontrolü için personel desteği gerekmektedir ve bu yer seçiminde önemli bir kriterdir. R5 noktası, yakındaki arıtma tesisinde çalışan sabit personelin çevre konularında bilgisi olması sebebiyle 9 puan alırken, R6 noktasında bulunan çalışanların da çalışmaya destek olabileceği düşünülerek 8 puan almıştır. R1, R2, R3, R4 ve R7 noktaları da sırayla 6, 4, 3, 2 ve 3 puan almıştır.

K6 (Ulaşılabilirlik): Zorlu kış şartlarında istasyonların kurulması sırasında araçla nakil işlemleri gerektiğinden bölgenin erişilebilirliği gayet iyi olmalıdır. Bu kriterlerde bahsedilen koşullar daha çok fiziksel koşullar olup engebeli, yolu olmayan veya ulaşımın zor olduğu bölgeler tercih edilmemektedir. Kırsal ölçüm noktası olarak düşünülen alternatifler daha çok asfalt yollardan uzakta tali yol veya daha kötü şartlarda bulunmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında R6 noktası çok

elverişli olmasa da 6 puanla en iyi alternatiftir. Sonrasında ise 3 puanla R1 ve R7 gelmektedir.

K7 (Mesafe): Kurulacak istasyona bir yıl süresince belirli aralıklarla ziyaret yapılacağından mesafe de önemli bir kriterdir. Alternatif noktaların mesafelerini belirlemek için Anadolu Üniversitesi'ne (Eskişehir) olan uzaklıklarının göz önüne alındığı kriterde, merkeze 127 km mesafe ile en yakın nokta olan R5 no'lu nokta en avantajlı konumda iken, bu noktayı 129 km uzaklıkla R4 no'lu nokta, 132 km uzaklıkla R3 no'lu nokta, 134 km uzaklıkla R6 no'lu nokta, 140 km uzaklıkla R7 no'lu nokta, 141 km uzaklıkla R2 no'lu nokta izlemektedir. Mesafe açısından en uzak olan nokta ise 173 km'lik uzaklıkla R1 no'lu noktadır.

Kentsel hava kalitesi istasyonu için her bir kritere ait puan / değerler aşağıda açıklanmıştır:

K1 (Kirlilik Seviyesi): Her ne kadar kentsel istasyon, özellikle kış aylarında yoğun lokal kirliliğe maruz kalsa da zaman zaman termik santrallerin etkisinde de kalmaktadır. Rüzgar gülleri ve özellikle yaz ayları için oluşturulan AERMOD dispersiyon haritaları bunu göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda U1 noktası 2, U3 noktası 3, U5 noktası 4 ve U2 ve U4 noktaları 8 puan almıştır. Puanlama sisteminde kirlilik seviyesi için dikkat edilmesi gereken nokta kırsal istasyon için azalan yönde, kentsel istasyon için ise artan yönde bir puanlama olduğudur.

K2 (Güvenlik): İstasyonların güvenliği açısından; U1 noktası Meteoroloji Müdürlüğü tarafından işletilip sürekli koruma sağlandığı için 9, U2 noktası da Tarım İl Müdürlüğü bahçesinde bulunduğundan 7 puan almış, U3, U4 ve U5 noktaları ise orta derecede güvenliğin sağlandığı noktalar olup sırasıyla 5, 6, 6 puan almıştır.

K3 (Elektrik Elverişliliği): İstasyonların içinde konumlandırılan ölçüm cihazları elektriğe ihtiyaç duyduğundan sabit ve stabil bir elektrik şebekesinin olması son derece önemlidir. Kurulması planlanan istasyon civarında elektrik direkleri veya olası elektrik çekilebilecek noktaların uzaklıkları, konumları, olasılıkları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda U1 noktasında bulunan elektrik imkanının elverişliliği 7 puan alırken, U2, U3, U4 ve U5 noktalarının elektrik

direklerine uzak olmasından ve elverişli olmamasından dolayı sırasıyla 4, 3, 4 ve 4 puan almıştır.

K4 (İkili Anlaşmalar): İstasyonlar Kütahya'da kurulacak olduğundan lojistik destek son derece önem arz etmektedir. Seçilecek istasyon yeri için doğrudan ikili işbirliği yapılacağı için bu kriterde önemli rol oynamaktadır. Kırsal istasyona benzer şekilde yapılan değerlendirmede, U1 istasyonu bu kriterde 8 puan almış, hemen ardında ise 7 puanla U2 yer alırken, U3, U4 ve U5 noktaları düşük sayılabilecek 4, 3 ve 2 puanlarını almıştır.

K5 (Personel Desteği): İstasyonlar kurulduktan sonra, istasyon içerisinde yer alan farklı hava kalitesi ölçüm cihazlarının kontrolü için personel desteği gerekmektedir ve bu yer seçiminde önemli bir kriterdir. U1 noktasındaki Meteoroloji Müdürlüğünde çalışan uzmanların olması sebebiyle 8 puan alırken, U2 noktasında bulunan Tarım İl Müdürlüğünde çalışan kişilerinde çalışmaya destek olabileceği düşünülerek 6 puan almıştır. U3, U4 ve U5 noktalarında ise destek olacak personel az/olmadığından sırayla 1, 2 ve 2 puan almıştır.

K6 (Ulaşılabilirlik): Zorlu kış şartlarında istasyonların kurulması sırasında araçla nakil işlemleri gerektiğinden bölgenin erişilebilirliği gayet iyi olmalıdır. Bu kriterde bahsedilen koşullar daha çok fiziksel koşullar olup engebeli, yolu olmayan veya ulaşımın zor olduğu bölgeler tercih edilmemektedir. Bu durum göz önüne alındığında U1, U2 ve U4 noktaları 7 puanla en iyi alternatiflerdir. Sonrasında ise 5 ve 6 puanla U3 ve U5 gelmektedir.

K7 (Mesafe): Alternatif noktaların mesafelerini belirlemek için Anadolu Üniversitesi'ne (Eskişehir) olan uzaklıklarının göz önüne alındığı kriterde, merkeze 81 km mesafe ile en yakın saha olan U1 no'lu nokta en avantajlı konumda iken, bu noktayı 84 km uzaklıkla U3 no'lu nokta, 85 km uzaklıkla U5 no'lu nokta izlemektedir. Mesafe açısından en uzak olan noktalar ise 88 km'lik uzaklıkla U2 ve U4 no'lu noktalardır.

Karar vericiler, ELECTRE III yönteminin kullanılmasında, her bir kriter için tercih, farksızlık, veto eşik değerleri ve ağırlıklandırmaları tanımlamalıdır. Bu eşik değerleri, izin verilen veri belirsizlikleri için sıralama ilişkileri üretmektedir. Eşik değerlerini performansın bir fonksiyonu olarak göz önüne

alındığında; $[\alpha * g_j (a) + \beta]$; eşitliği kullanabilir. α değeri 0'a ve β değerleri de Çizelge 5.2'de görülen ilgili verilere eşittir. Burada gösterilen β değeri, performans ölçüğü ile aynı birimlerde ifade edilmektedir.

Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonuna ait her bir kriter, farklılık ve tercih eşik değeri için karar vericiler tarafından tanımlanan ağırlıklandırmalar Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Bu çalışmada veto edilecek herhangi bir alternatif gözlemediğinden dolayı bu çalışmada veto eşik değerleri kullanılmamış olup aynı zamanda uyumsuzluk matrisleri de dikkate alınmamıştır. Karar verici olarak tarafımızca, kriter ağırlıklandırmalarının toplamı 100 olacak şekilde her bir kritere ait ağırlıklandırması atanmıştır.

Çizelge 5.2. ELECTRE III metodunda kırsal ve kentsel istasyonlar için kriterlere ait eşik değerleri ve ağırlıklandırmaları

Kriter No	Kırsal İstasyon			Kentsel İstasyon		
	β_q^a	β_p^b	W^c	β_q^a	β_p^b	W^c
k1	1	2	30	1	2	30
k2	1	2	20	1	2	20
k3	1	3	10	1	3	10
k4	1	3	10	1	3	10
k5	1	2	10	1	2	10
k6	1	2	10	1	2	10
k7	6	10	10	3	5	10

^a β_q : Farklılık eşik değeri katsayısı
^b β_p : Tercih eşik değeri katsayısı
^cW: Kriter ağırlıklandırması

Güvenilirlik matrisleri, benzer ÇÖKV çalışmaları yapan araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olup kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonları için ELECTRE III çıktısı olarak elde edilmiştir. Güvenilirlik matrisi, uyumsuzluk matrisinin kullanılmadığı durumlarda, sıralama derecesini veren uyumluluk matrisine eşittir. Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonu yer seçiminde

kullanılan güvenilirlik ve uyumluluk matrisleri sırasıyla Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Kırsal istasyona ait güvenilirlik ve uyum matrisleri

Kırsal İstasyon							
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1	1	0.9	0.6	0.6	0.2	0.1	0.6
R2	0.4	1	0.6	0.6	0.1	0.1	0.6
R3	0.8	1	1	1	0.5	0.4	1
R4	0.4	0.6	0.8	1	0.5	0.4	0.9
R5	1	1	1	1	1	0.9	1
R6	1	1	1	1	1	1	1
R7	0.5	0.7	0.7	0.9	0.4	0.4	1

Çizelge 5.4. Kentsel istasyona ait güvenilirlik ve uyum matrisleri

Kentsel İstasyon					
	U1	U2	U3	U4	U5
U1	1	1	1	1	1
U2	0.2	1	0.6	1	0.7
U3	0.4	0.5	1	0.9	1
U4	0.1	0.8	0.6	1	0.7
U5	0.2	0.8	0.9	1	1

5.1.2. Kentsel ve kırsal istasyon yer seçimi için AHP sonuçları

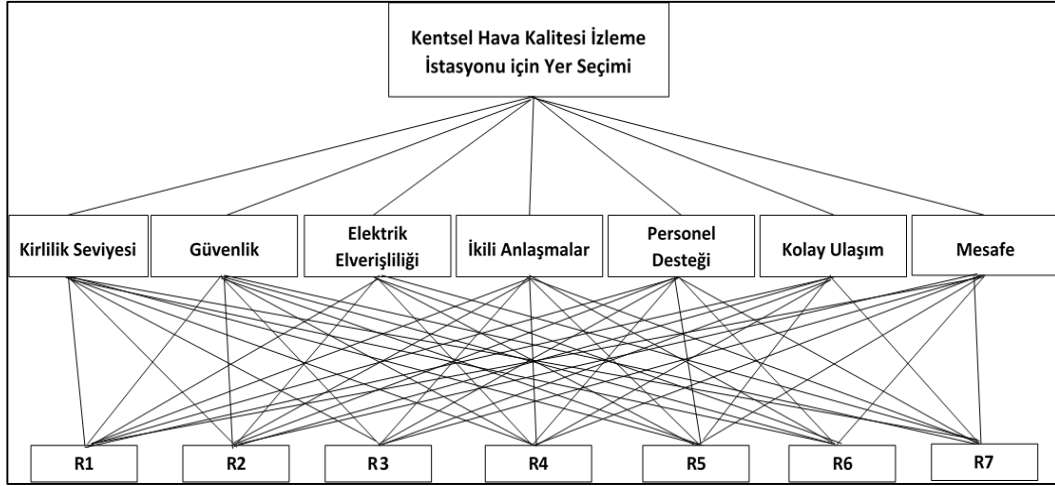
AHP yöntemindeki genel fikir, kriterlere göre alternatiflerin ikili karşılaştırmalarını yapmak ve oluşturulan kriterleri, kriter ağırlıklandırılmalarına göre kendi içerisinde tahmin etmektir (Saaty, 1980). Karar vericiler, AHP çalışmalarında Saaty tarafından geliştirilen dokuz nokta ölçeğini (Bkz. Çizelge 5.5) kullanarak kriterlerin ikili karşılaştırmalarını yapmışlardır (Saaty, 1994). Tutarlılık

oranlarının (TO) 0.10'dan daha az olması, AHP yöntemi işleyişi içerisinde reddedilemez bir gerçek olduğunu göstermektedir. 0.10'dan daha yüksek olan tutarlılık oranlarının sonuçları güvenilir olmayıp bu karşılaştırmaların yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir (Zafarani ve ark., 2014).

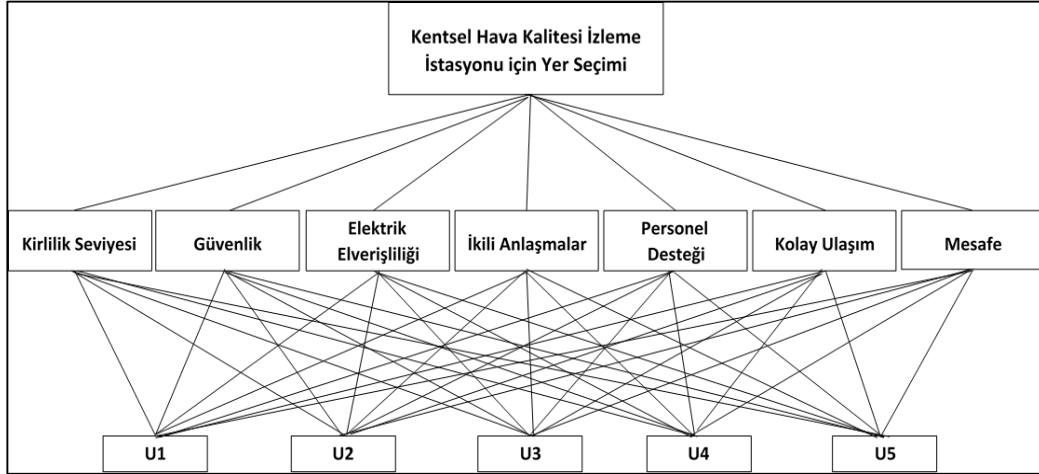
Çizelge 5.5. İkili karşılaştırma ölçeği

Bağıl Önem	Açıklama
1	Eşit derecede önem
3	Orta derecede önem
5	Kuvvetli derecede önem
7	Çok kuvvetli derecede önem
9	Mutlak derecede önem
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonu yer seçimi için oluşturulan karar hiyerarşi yapısı Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Diyagramın en üst sırasında yer alan bölüm, hiyerarşik yapının ana amacını “kırsal ve kentsel istasyona ait karar hiyerarşi yapısı” göstermektedir. Diyagramın ikinci sırasında yer alan kısım ise kriterlere ait alternatif değerlendirmesini göstermektedir. Son sırada yer alan kısım ise alternatifler ile kriterleri birbirine bağlayan çoklu çizgilerden oluşmaktadır. Bu diyagrama göre, kriterlere karşı önem sıralamalarının ve alternatiflere karşı tercih edilecek her bir kriterin ikili karşılaştırmaları yapılmıştır.



Şekil 5.1. Kırsal istasyona ait karar hiyerarşi yapısı



Şekil 5.2. Kentsel istasyona ait karar hiyerarşi yapısı

Kırsal ve kentsel istasyonları alternatifleri için her bir kriter, tutarsızlık değeri ve ağırlıklandırmalara ait karşılaştırma sonuçları sırasıyla, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Aşağıda yer alan şekle göre, karşılaştırma sonuçlarına ait tutarsızlık değerleri 0.10'un altında olmasına dikkat edilmiştir. Her bir kriter için en yüksek sıralama değeri koyu karakterle gösterilmiştir. Şekil 5.3'de görülen sonuçlara göre, kırsal hava kalitesi izleme istasyonu yer seçiminde R6 (Göbel termal tesisi) alternatifi, "elektrik elverişliliği" kriteri dışında diğer tüm kriterler için en uygun alternatif olarak görülmüştür. Şekil 5.4'de görülen sonuçlara göre ise,

kentsel hava kalitesi izleme istasyonu yer seçiminde, U1 (Kütahya Meteoroloji Müdürlüğü) alternatifi, tüm kriterler için en uygun alternatif olarak görülmüştür.

Kırsal Hava Kalitesi İzleme İstasyonu Yer Seçimi							
	Kirlilik Seviyesi	Kolay Ulaşım	Güvenlik	Elektrik Elverişliliği	İkili Anlaşmalar	Personel Desteği	Mesafe
U1	0.361	0.366	0.518	0.449	0.349	0.421	0.327
U2	0.065	0.084	0.228	0.204	0.245	0.181	0.094
U3	0.192	0.241	0.099	0.074	0.086	0.075	0.290
U4	0.059	0.073	0.045	0.167	0.228	0.236	0.097
U5	0.323	0.236	0.110	0.106	0.092	0.087	0.192
Tutarsızlık	0.01	0.02	0.08	0.07	0.04	0.03	0.02
Ağırlıklandırma	0.306	0.097	0.201	0.097	0.104	0.106	0.089

Şekil 5.3. Kırsal hava kalitesi izleme istasyonu yer seçimi AHP sonuçları

Kentsel Hava Kalitesi İzleme İstasyonu Yer Seçimi							
	Kirlilik Seviyesi	Kolay Ulaşım	Güvenlik	Elektrik Elverişliliği	İkili Anlaşmalar	Personel Desteği	Mesafe
R1	0.149	0.119	0.122	0.113	0.128	0.171	0.036
R2	0.053	0.108	0.069	0.058	0.046	0.044	0.082
R3	0.036	0.054	0.039	0.048	0.041	0.043	0.139
R4	0.101	0.100	0.078	0.088	0.088	0.077	0.184
R5	0.213	0.179	0.270	0.330	0.295	0.294	0.227
R6	0.419	0.404	0.389	0.329	0.369	0.339	0.240
R7	0.28	0.036	0.033	0.034	0.032	0.032	0.093
Tutarsızlık	0.05	0.05	0.08	0.09	0.08	0.04	0.04
Ağırlıklandırma	0.308	0.098	0.203	0.098	0.106	0.098	0.090

Şekil 5.4. Kentsel hava kalitesi izleme istasyonu yer seçimi AHP sonuçları

5.1.3. AHP ve ELECTRE sonuçlarının karşılaştırılması

ELECTRE ve AHP sıralama sonuçları Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’de gösterilmiştir. Çizelge 5.6’dan de görüldüğü gibi, her iki yöntem için de en uygun kırsal istasyon alternatifi R6 numaralı Göbel kaplıca tesisi alternatiftir. 2. sırada R5 numaralı Tavşanlı Belediyesi Arıtma tesisi yer almaktadır. R2 ve R7 alternatifleri her iki yöntemde de son sırada yer almıştır. Aynı şekilde, Çizelge 5.7’den de görüldüğü gibi adı geçen kriterler çerçevesinde en uygun kentsel istasyon alternatifi diğerlerinden oldukça önemli bir farkla U1 numaralı Meteoroloji Müdürlüğü alternatiftir. Diğer alternatiflerin ağırlıklarının ve sıralamalarının her iki yöntemde de birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.6. Kırsal istasyona ait ELECTRE ve AHP sıralama sonuçları

Kırsal istasyon		
	ELECTRE sıralama sonuçları	AHP sıralama sonuçları (%)
R1	4	3 (12.20)
R2	6	5 (6.40)
R3	3	6 (5.50)
R4	5	4 (10.30)
R5	2	2 (25.20)
R6	1	1 (36.40)
R7	5	7 (4.00)

Çizelge 5.7. Kentsel istasyona ait ELECTRE ve AHP sıralama sonuçları

Kentsel istasyon		
	ELECTRE sıralama sonuçları	AHP sıralama sonuçları (%)
U1	1	1 (39.40)
U2	2	4 (14.00)
U3	2	3 (15.90)
U4	3	5 (10.90)
U5	2	2 (19.80)

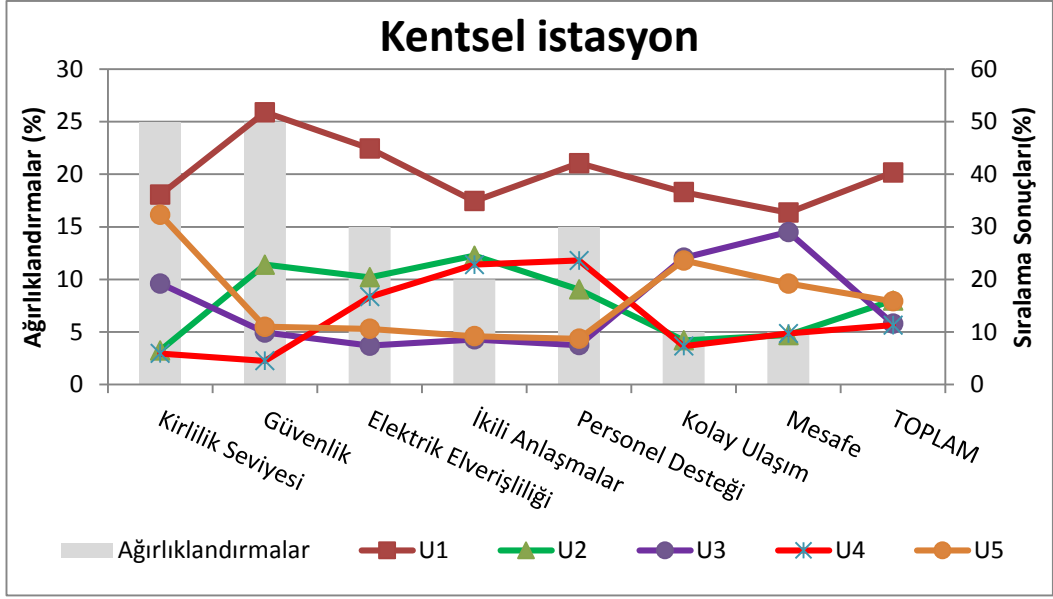
5.1.4. AHP ve ELECTRE duyarlılık analizleri

Alternatiflerin sıralaması, çeşitli eşik değerlerine ve önem ağırlıklıklandırmalarına bağlı kalmaktadır. Karar vericilerin tercihleri hakkında bilgiler içeren değişkenlerle ilgili değerlerin değişimlerinin etkisini belirleyebilmek amacıyla duyarlılık analizi yapılmalıdır. Bu analiz üç şekilde yapılmaktadır.

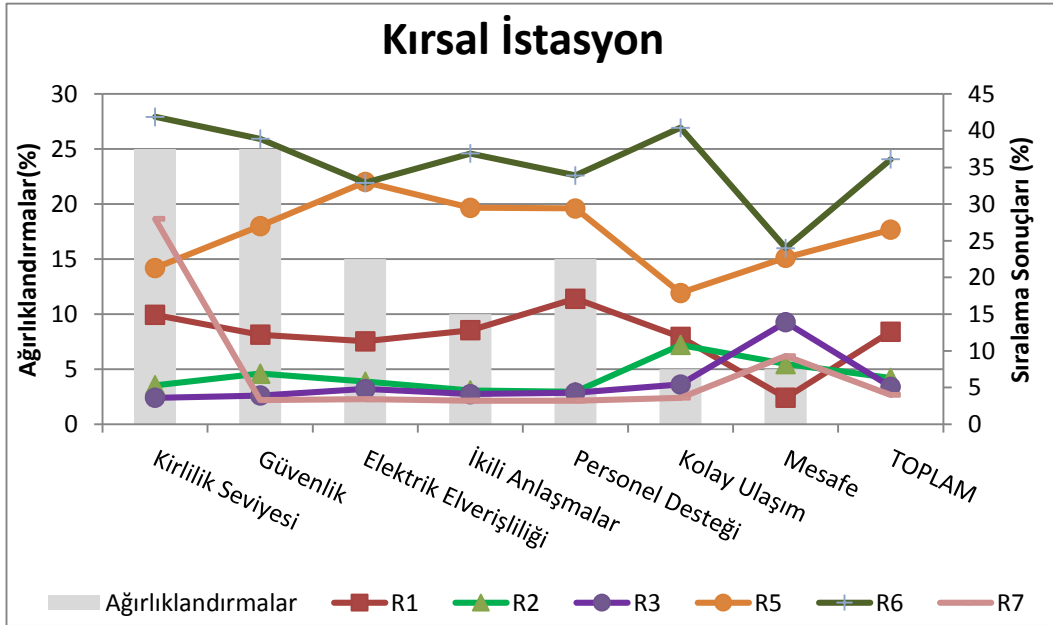
- Sayısal olmayan değerlerin değiştirilmesi,
- Ölçütlerin ağırlıklarının değiştirilmesi,
- Eşik değerlerinin değiştirilmesi (sadece tercih eşik değeri, sadece farksızlık eşik değeri ya da her ikisi birden).

5.1.4.1. AHP duyarlılık analizleri

Duyarlılık analizi, keyfi kapsayıcı tüm unsurlara rağmen model tarafından hangi öncelik sırasının doğru olduğunu vurgulamak için yapılması tavsiye edilmektedir. Kırsal ve kentsel istasyona ait AHP yönteminden elde edilen duyarlılık analizi sonuçları Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde, ağırlıklandırmalar (%) birinci y-ekseninde, sıralama sonuçları (%) ikinci y-ekseninde ve kriter isimleri x-ekseninde gösterilmiştir. Duyarlılık analizi için girilen yeni kriter ağırlıklandırmaları sütun grafik olarak x-ekseninde gösterilmiştir. Şekildeki çizgi grafikleri, her bir kriter ve genel ortalama (TOPLAM) için alternatiflerin sıralama sonuçlarını göstermektedir. Nihai sıralama sonuçları ise x-ekseninde genel ortalamadan (TOPLAM) görülebilir.



Şekil 5.5. AHP metodundan elde edilen kentsel istasyon duyarlılık analizi sonuçları



Şekil 5.6. AHP metodundan elde edilen kırsal istasyon duyarlılık analizi sonuçları

Kırsal ve kentsel izleme istasyonlarına ait kriter ağırlıklandırmalarında yapılan değişiklikler Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Kriter ağırlıklandırma değişiklikleri

<i>Kriter ağırlıklandırmalarında yapılan değişiklikler</i>			
	<i><u>Eski değerler</u></i>	<i><u>Yeni değerler</u></i>	<i><u>Açıklamalar</u></i>
Kriter Ağırlıklandırmaları	30;20;10;10; 10;10;10	25;25;15;10; 15;5;5	Nihai sıralamada değişiklik yaratacak herhangi bir değişim olmadı.

Kirlilik seviyesi, kolay ulaşım ve mesafe kriterlerinin değerleri Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi azaltılmasının yanı sıra güvenlik, elektrik elverişliliği ve personel desteği kriter değerleri arttırılarak farklı senaryolar denenmiştir. Bu senaryo çalışmasında ikili anlaşmalar kriterinin değerinin değiştirilmemesinin sebebi proje ortakları ve yardımcı kuruluşlarla olan ikili anlaşmalarda herhangi bir değişiklik olmayacağını düşünülmesidir. Bu değişikliklerin yapılmasından sonra sonuç değerlerinde küçük oranlarda değişimler olsa da nihai sıralamada herhangi bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.

5.1.4.2. ELECTRE duyarlılık analizleri

ELECTRE duyarlılık analizlerinde üç farklı türde değişiklikler yapılmıştır. İlk olarak, yüksek ağırlıklandırmalara sahip olan üç kriterde değişiklik yapılmış ve nihai sıralamada ilk üçte bir değişim gözlenmemiştir. Yapılan ikinci tür değişiklikte, yedi kritere dağıtılan ağırlıklandırmalar, “ikili anlaşmalar” kriteri dışındaki kriterler için Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da gösterilen oranlarda değiştirilmiştir. Yapılan son değişiklik ise, sadece tercih eşik değerlerinde yapılacak değişiklikler ve sadece farksızlık eşik değerlerinde yapılacak değişiklik olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür. Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonuna ait yapılan değişiklikler sırasıyla Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. ELECTRE metodundan elde edilen kırsal istasyon duyarlılık analizi sonuçları

<u><i>Değişen parametreler</i></u>	<u><i>Eski değerler</i></u>	<u><i>Yeni değerler</i></u>	<u><i>Sonuçtaki değişiklikler</i></u>
<i>Sayısal olmayan kriterlerinin puanlamalarında yapılan değişiklikler</i>			
Kirlilik seviyesi (C1)	8,8,5,6,6,5,6	7,6,4,5,4,4,8	R6>R5>R3>R1>R2>R4>R7
Güvenlik (C2)	6,4,5,1,8,8,2	8,3,3,1,9,8,1	R6>R5>R3>R1>R4=R7>R2
Kolay ulaşım (C6)	3,1,2,1,2,6,3	6,2,2,4,4,6,1	R6>R5>R3>R1=R4>R7=R2
<i>Kriter ağırlıklandırmalarında yapılan değişiklikler</i>			
Kriter ağırlıklandırma	30;20;10;10; 10;10;10	25;25;15;10; 15;5;5	Nihai sıralamada değişiklik yaratacak herhangi bir değişim olmadı. Güvenilirlik ve uyumluluk matrislerinde küçük oranlarda değişimler gözlemlendi.
<i>Eşik değerlerinde yapılan değişiklikler</i>			
Tercih eşik değerlerinde yapılacak değişiklik	2,2,3,3,2,2,10	2,3,3,3,3,4,15	Nihai sıralamada değişiklik gözlenmedi
Farksızlık eşik değerlerinde yapılacak değişiklik	1,1,1,1,1,1,6	1,1,1,1,1,1,8	Nihai sıralamada değişiklik gözlenmedi

Çizelge 5.10. ELECTRE metodundan elde edilen kentsel istasyon duyarlılık analizi sonuçları

<u>Değişen parametreler</u>	<u>Eski değerler</u>	<u>Yeni değerler</u>	<u>Sonuctaki değişiklikler</u>
<i>Sayısal olmayan kriterlerinin puanlamalarında yapılan değişiklikler</i>			
Elektrik elverişliliği (C3)	7,4,3,4,4	7,7,3,6,4	U1>U5=U2>U3>U4
Kolay ulaşım (C6)	7,7,5,7,6	7,8,7,5,7	Nihai sıralamada değişiklik gözlenmedi
Kirlilik seviyesi (C1)	2,8,3,8,4	3,5,7,5,3	U1>U5=U2>U4>U3
<i>Kriter ağırlıklandırmalarında yapılan değişiklikler</i>			
Kriter ağırlıklandırma	30;20;10;10; 10;10;10	30;25;10;10; 15;5;5	U1>U5=U2>U4>U3 Güvenilirlik ve uyumluluk matrislerinde küçük oranlarda değişimler gözlemlendi.
<i>Eşik değerlerinde yapılan değişiklikler</i>			
Tercih eşik değerlerinde yapılacak değişiklik	2,2,3,3,2,2,5	2,3,3,3,3,3,4	Nihai sıralamada değişiklik gözlenmedi
Farksızlık eşik değerlerinde yapılacak değişiklik	1,1,1,1,1,1,3	1,1,2,2,1,1,1	Nihai sıralamada değişiklik gözlenmedi

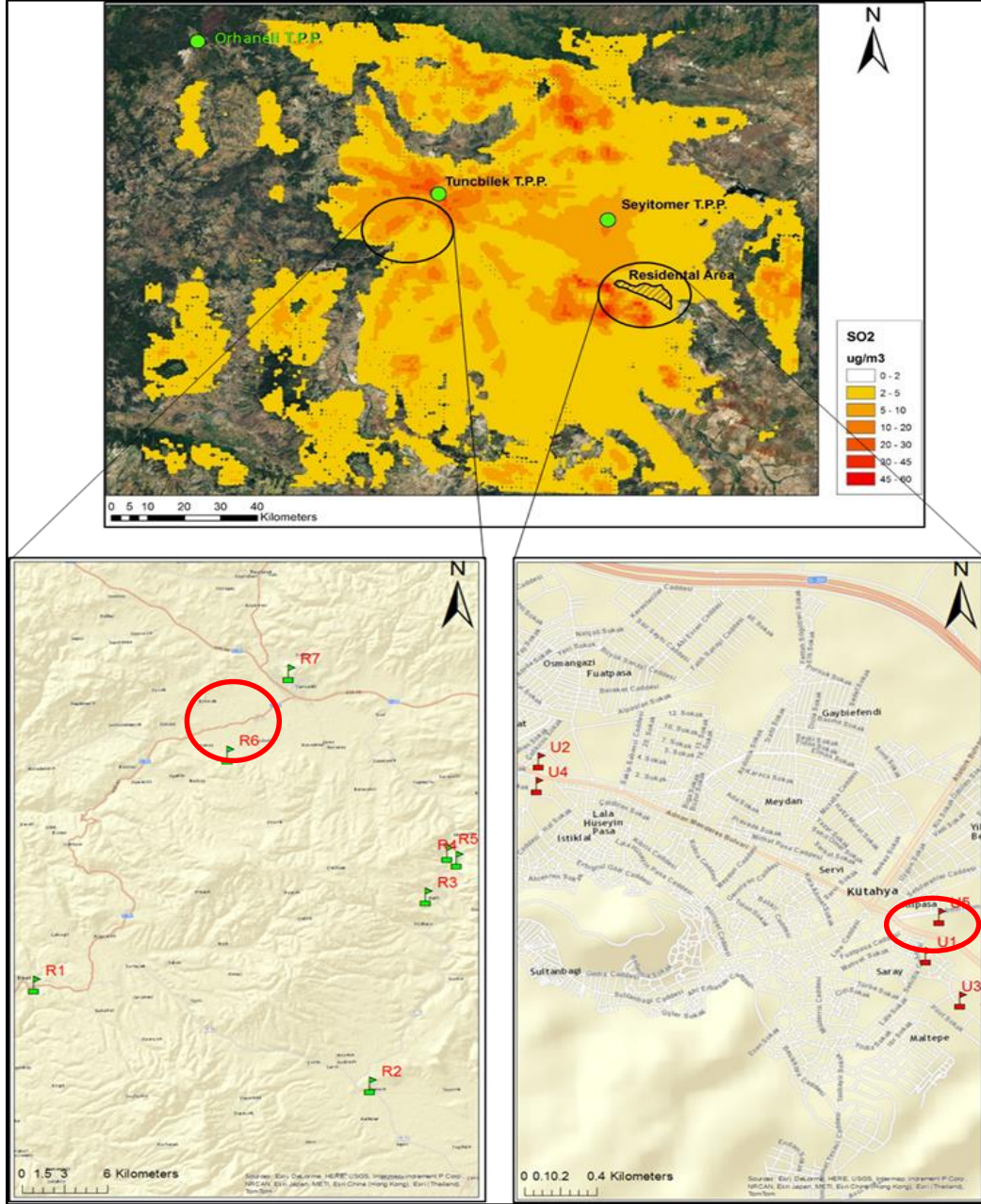
ÇÖKV yöntemleri sonucunda istasyon yerlerin belirlenmesinin ardından istasyonlardaki otomatik analizörler ile bir yıllık ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu yer seçme çalışmasının ne oranda başarılı olup olmadığını görmek için analizörlerin bir yıllık süreç içerisinde ne kadar veri topladıkları Çizelge 5.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Bir yıllık süreç içerisinde analizörlerin veri kaydetme yüzdeleri

	NO _x	O ₃	SO ₂
Kentsel istasyon	98.4	74.0	90.8
Kırsal İstasyon	92.2	60.6	87.5

Çizelge 5.11’de yer alan düşük O₃ analizörü kayıt yüzdelерinin sebebi analizörlerde meydana gelen çeşitli arızlardan dolayıdır.

Yapılan tüm bu çalışmalar sonunda, karar verilen kırsal ve kentsel istasyon yerleri Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Kırsal ve kentsel istasyon için karar verilen yerler

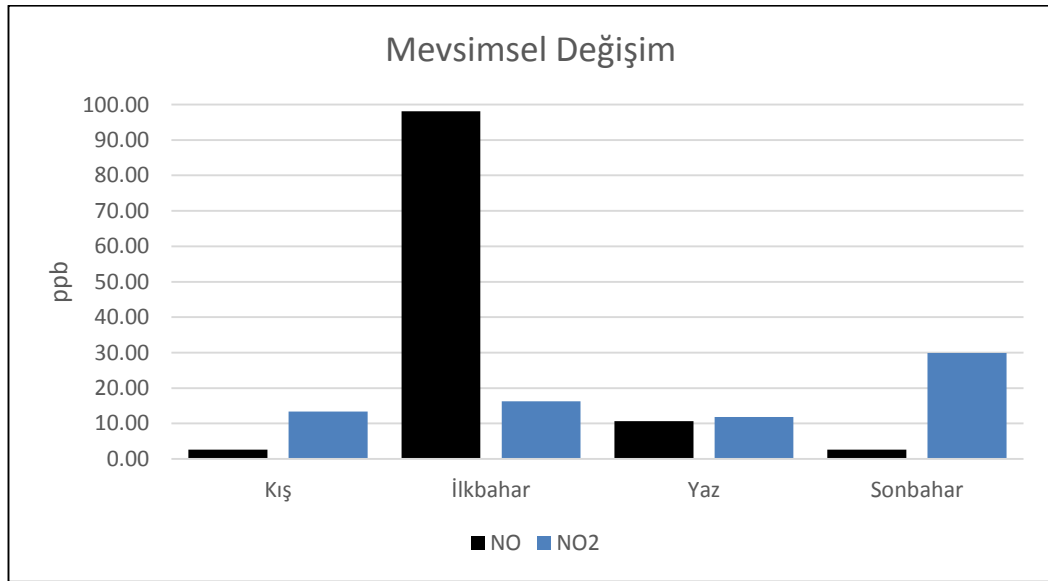
5.2. Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

26 Aralık 2013 tarihinden itibaren her iki istasyonda da otomatik analizörler ile kirletici derişimleri sürekli olarak ölçülmüştür. Her iki istasyonda yer alan NO_x, SO₂, O₃ kirleticilerine ait aktif ölçüm sonuçları alt başlıklarda değerlendirilmiştir.

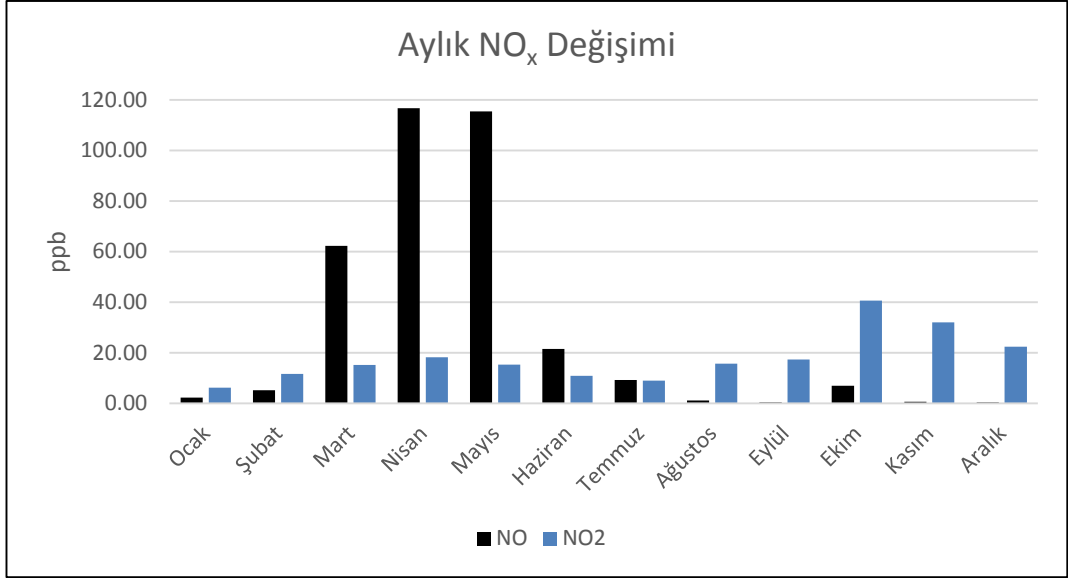
5.2.1. Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonları NO_x (azot oksitler) ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

Kırsal hava kalitesini izlemek amacıyla kurulan istasyon, yerleşim birimlerine yakın bir mesafede değildir. İstasyonun doğu yönünde kalan bölgede yer alan Göbel kaplıcaları ve Göbel köyü dışında, yakın olan başka yerleşim yeri yoktur. Kış aylarında evsel ısınmada doğalgaz kullanılmamakta ve sadece kömür ve diğer yakıtlar (odun gibi) kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında 06.01.2014 - 30.12.2014 tarihleri arasındaki veriler değerlendirilmiştir.

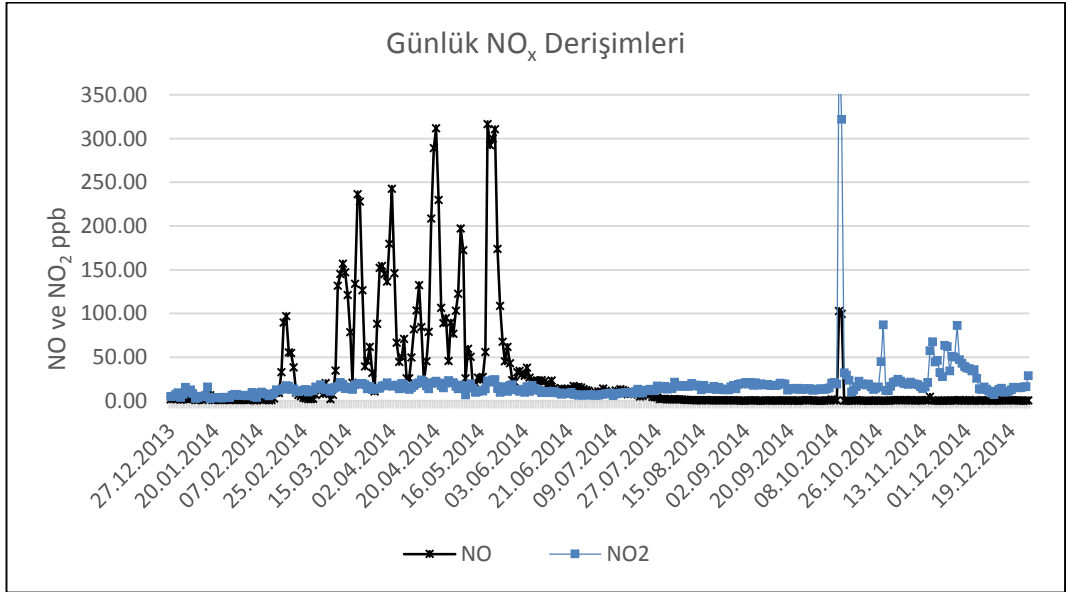
Kırsal istasyon için, Şekil 5.8'de mevsimsel NO ve NO₂ değişimi, Şekil 5.9'da aylık NO ve NO₂ ortalamaları ve Şekil 5.10'da günlük NO ve NO₂ ortalamaları gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Kırsal istasyonda ölçülen NO_x derişimlerinin mevsimsel değişimi



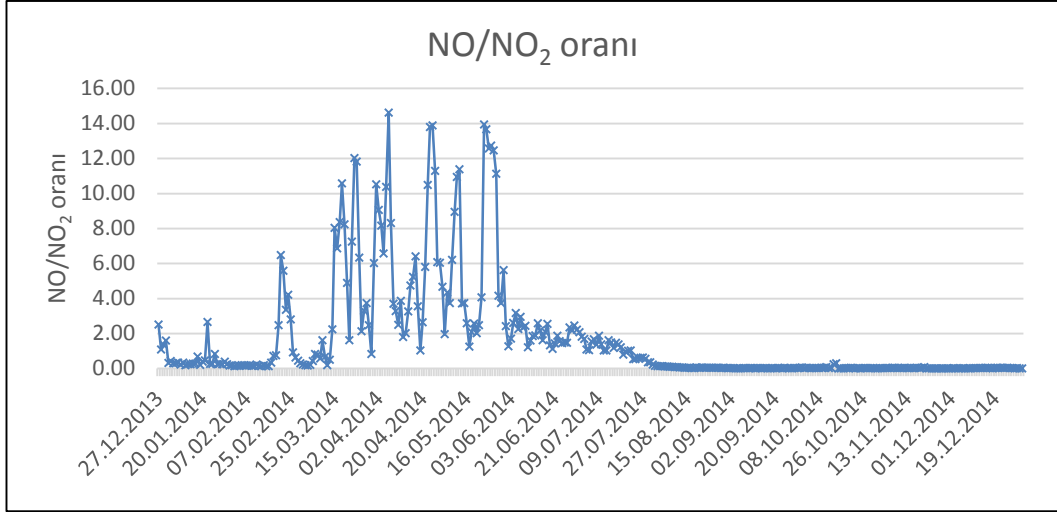
Şekil 5.9. Kırsal istasyonda ölçülen NO_x derişimlerinin aylık değişimi



Şekil 5.10. Kırsal istasyonda ölçülen NO_x derişimlerinin günlük ortalamaları

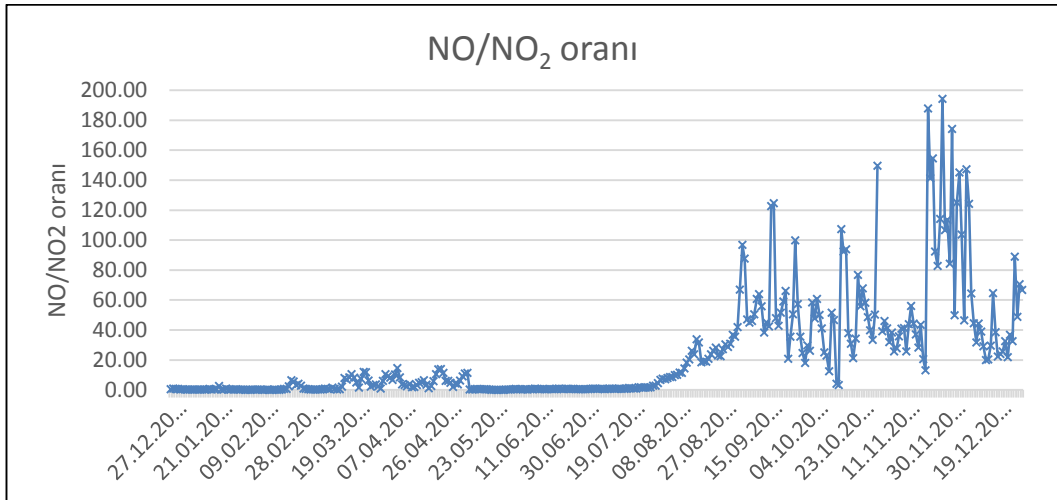
Kırsal istasyonda, kış aylarında düşük derişimler gözlenmesinin yanı sıra NO₂ derişimleri, NO derişimlerinden her zaman yüksek seviyelerdedir. Mart ile birlikte Nisan ve Mayıs aylarında ortalama 120 ppb seviyelerinde NO derişimleri ölçülmüştür. En yüksek NO seviyesi ise 24 Mayıs tarihinde ortalama 317 ppb olarak ölçülmüştür.

Her iki istasyonda da Aralık 2014 tarihinden Ocak 2015 tarihine kadar her gün için alınan saatlik ölçümlerde aylık ortalama derişimlere etki eden kalibrasyon pikleri silinerek verilerde bir ayıklama işlemleri yapılmıştır. Kimyasal ışımaya prensibiyle ölçüm yapmakta olan NO_x analizörleri, ölçüm kabini için iç sıcaklığının çok fazla yükseldiği durumlarda (klimanın arızalandığı günlerde) sıcaklık alarmı vermekte ve normale oranla oldukça yüksek derişimler ölçmektedir. Veri ayıklama işlemleri bu alarm durumları tespit edilerek bu günlerdeki verilerin saatlik veri setinden çıkartılmasıyla yapılmıştır. Fakat kırsal istasyon için yapılan detaylı incelemede, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında klimanın arızalı olmadığı günlerde de özellikle gece yarısından sonraki saatlerde sürekli olarak bu yüksek değerlere rastlanmıştır. Bu gözlemlerde durumun tesadüf olmadığı, bölgedeki hava kalitesine etki eden önemli bir kaynak varlığının olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yanma kaynaklı bir diğer kirletici olan SO₂ derişimleri de NO_x'e benzer şekilde sürekli olarak ölçülerek, bu iki kirleticinin zamansal salınımları karşılaştırılarak daha sağlıklı sonuçlara ulaşmaya çalışılmıştır. Mart, Nisan ve Mayıs aylarında yüksek derişimlerde gözlenen NO, lokal bir kirletici olarak bilinmekte olup fotokimyasal tepkimeler ile NO₂'ye dönüşmektedir. Bu dönüşüm dakika mertebesinde olup uzun mesafeli taşınım sonucu bölgeye gelmesi zor bir ihtimaldir. Yüksek derişimlerin gözlemlendiği bu dönemin dışında kalan bütün sene boyunca NO₂ konsantrasyonları NO'dan yüksek olup sadece bu dönemde NO çok daha yüksektir. Ölçüm periyodu boyunca NO/NO₂ oranları bu durumu açıklamak için hazırlanmış olup Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Genellikle kentlerin dışında yapılan ölçümlerde NO₂'nin yüksek olduğu görülmekte ancak NO/NO₂ oranının bu kadar yüksek olması istasyonun dibinde lokal bir NO kaynağını işaret etmektedir. İstasyon civarında bulunan inşaat ve yapım faaliyetleri gibi lokal bir kaynaktan istasyona bir taşınım olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.11. Ölçüm periyodu boyunca NO/NO₂ oranları.

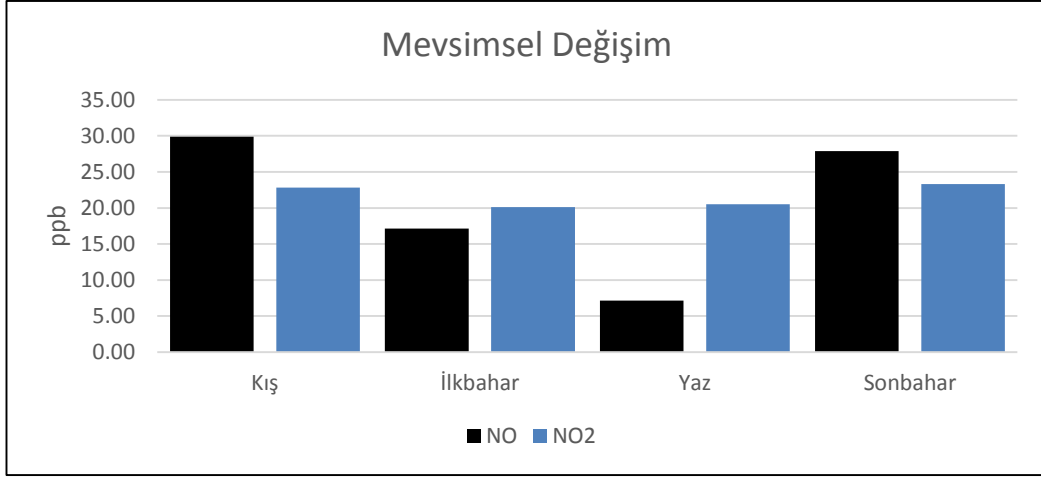
İstasyondaki NO₂ derişimleri Ekim, Kasım ve Aralık aylarında diğer aylara göre çok yüksektir. Bu amaçla kırsal istasyon için NO₂/NO oranı hesaplanmış ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Aynı zamanda yüksek derişimlerin gözleendiği bu aylardaki saatlik derişimler incelendiğinde bütün gün boyunca yüksek derişimlerin olduğu görülmüştür. Bu aylar fotokimyasal aktivitenin düşük olduğu aylar olarak bilindiğinden NO’nun NO₂’ye dönüşme hızı da azalmaktadır. Bu durum da istasyona ulaşan kirliliğın daha uzak bir noktadan geldiğini işaret etmektedir.



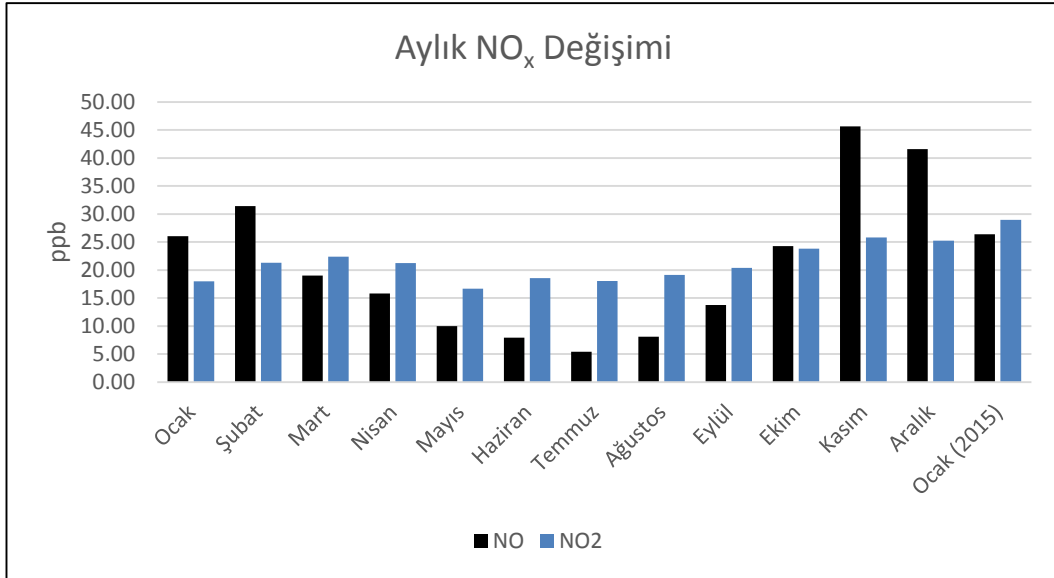
Şekil 5.12. Ölçüm periyodu boyunca NO₂/NO oranları

Bölüm 5.5.2’de, kırsal istasyon için hazırlanan rüzgar sektör analizlerinde görüldüğü gibi hakim rüzgar yönünün doğu ve batı olduğu görülmektedir. Hazırlanan kirlilik gücü haritaları ile istasyonun kuzeyinde bulunan Tunçbilek Termik Santralinin ölçüm periyodu boyunca yüksek frekansta (rüzgarın istasyon konumu yönünde çok sık esmemesi) kirletici katkısı sağlamadığı görülmüştür. Bu durum yaz aylarında NO, NO₂ ve SO₂ kirleticilerinin düşük seviyelerde ölçülmesini açıklamaktadır. Hakim rüzgar yönü olan doğu ve batı yönünden esen rüzgarlarda yüksek derişime sahip kirletici bir kaynak olmadığından NO, NO₂ ve SO₂ derişimleri düşük seviyelerde bulunmaktadır. Ancak yukarıda açıklandığı gibi yüksek derişimler gözlenen günler için yapılan kirletici gülleri ile bu kirliliğin kuzey sektörlü rüzgarlar ile taşınması sonucu geldiği düşünülmektedir.

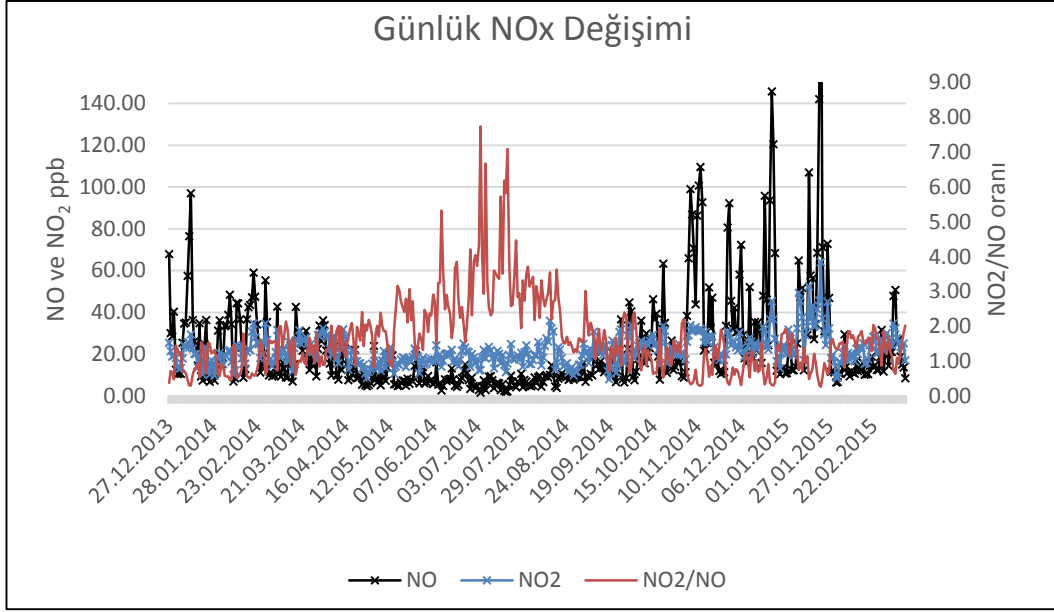
Kentsel hava kalitesini izlemek amacıyla kurulan kentsel istasyonda kış aylarında evsel ısınmadan (doğalgaz ve kömür) ve yıl boyunca trafikten kaynaklı azot oksit derişimlerinin görülmesi ve yaz mevsim ile evsel ısınmanın etkisinin ortadan kalkması ile civar bölgelerden meteorolojik etkilerle taşınacak azot oksitlerin görülmesi beklenmektedir. 26 Aralık 2013’de istasyonun kurulmasından sonra cihazlar ile ilk ölçümlere 27 Aralık 2013’te yapılmaya başlanmıştır. Bir yıllık süreçten sonra 14.01.2015 tarihinde son veri alınmıştır. Kentsel istasyon için, Şekil 5.13’de mevsimsel NO_x derişimi, Şekil 5.14’de aylık NO_x ortalamaları, Şekil 5.15’de günlük NO_x ortalamalarına karşı NO₂/NO oranları ve Şekil 5.16’da kentsel istasyondaki NO ve NO₂ derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri gösterilmiştir.



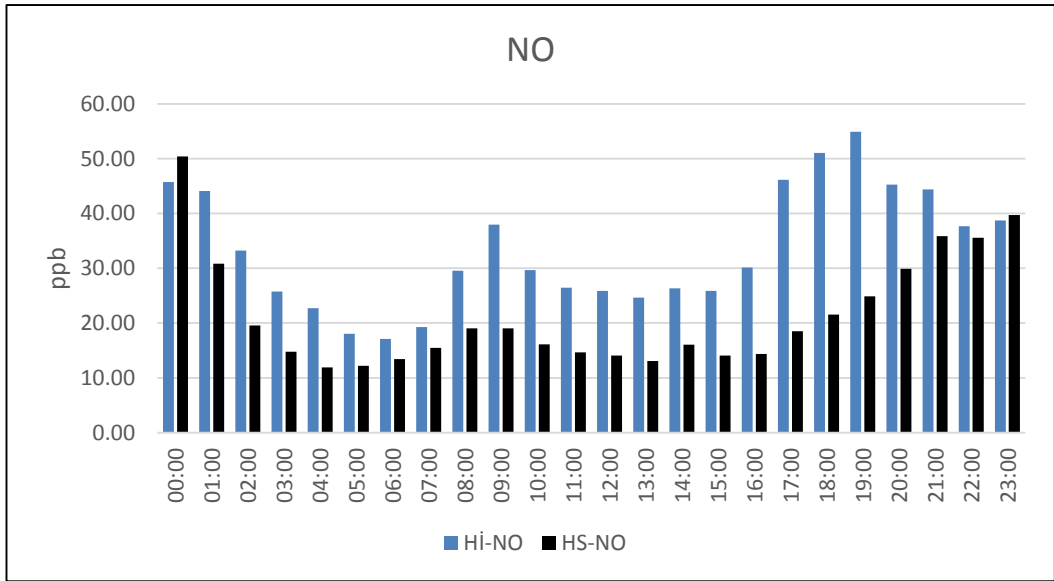
Şekil 5.13. Kentsel istasyonda ölçülen NO_x derişimlerinin mevsimsel değişimi



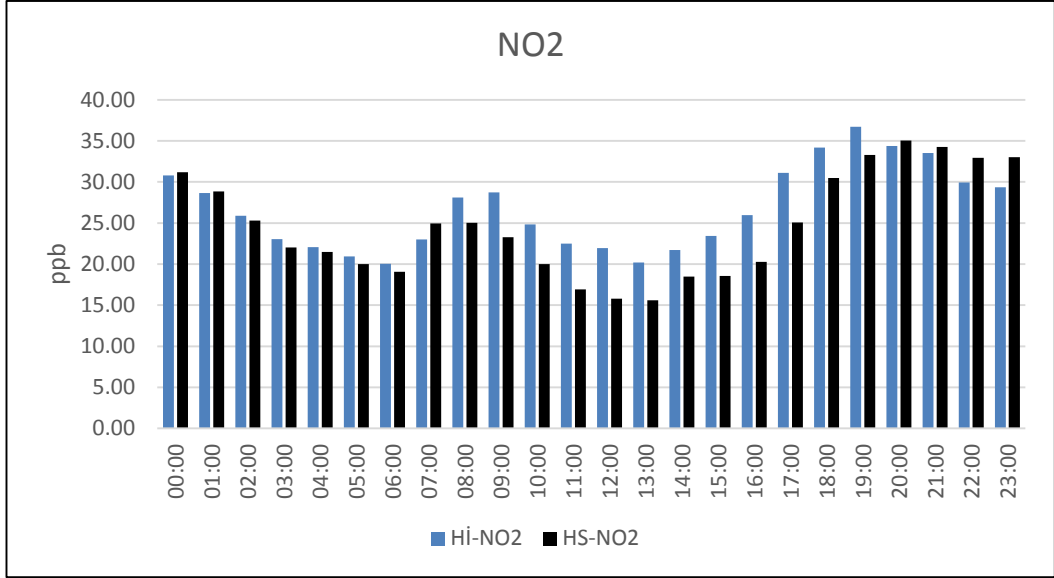
Şekil 5.14. Kentsel istasyonda ölçülen NO_x derişimlerinin aylık değişimi



Şekil 5.15. Kentsel istasyonda ölçülen NO_x derişimlerinin günlük ortalamaları ve NO₂/NO oranları



(a)



(b)

Şekil 5.16. Kentsel istasyondaki NO (a) ve NO₂ (b) derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri

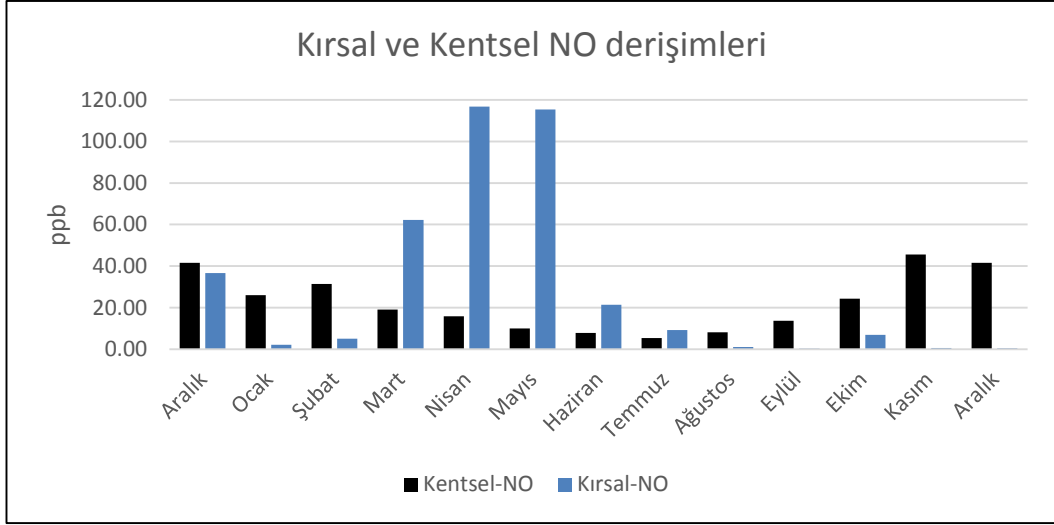
Şekil 5.14'de 2013 Aralık, 2014 Ocak, Şubat, Kasım ve Aralık ayları içerisinde NO derişimi NO₂'den yüksek seviyededir. Daha sonraki aylarda ise bu durum tersine dönmektedir. Yaz mevsimi ile de NO ve NO₂ derişimlerinde bir azalma görölmektedir. Şekil 5.15 incelendiğinde, yaz aylarındaki solar akıdaki artışın NO'nun NO₂'ye dönüştürme hızını arttırdığı gözlenmiştir. Eylül ayından sonra solar akıdaki azalma ile NO oranları tekrar artarak NO₂ seviyeleri üzerine çıkmıştır. NO₂ derişimleri, Kütahya kentsel istasyonunda ölçüm yapılan tüm aylarda hemen hemen aynı seviyelerde (18-28 ppb) ölçölmüştür. Kentsel istasyon yaz mevsiminde ısınmanın etkisinin ortadan kalkmasıyla, daha çok trafiğin etkisi altında kalmaktadır. En yüksek günlük NO derişim seviyeleri, 11, 12 Kasım 2014 (110 ppb civarı) ve 24, 25 Aralık 2014 (145 ppb civarı) tarihlerinde ölçölmüştür. Şekil 5.16. incelendiğinde ise kentsel istasyondaki NO (a) ve NO₂ (b) derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri gösterilmiştir. NO saatlik değişim grafiği incelendiğinde hafta içi NO değerlerinin hafta sonu NO değerlerinden her zaman yüksek olduğu görölmektedir. Bu durumun sebebi okul/iş gidiş saatleri (08:00-09:00) ile geliş saatlerinde (17:00-18:00-19:00) görölen trafik yoğunluğudur. Bu saatlerin dışında kalan zaman da hafta içi NO derişimleri hafta sonu derişimlerinden yüksektir. Şehir merkezinde trafikten kaynaklı lokal bir kirliliğe

işaret eden NO, fotokimyasal reaksiyonlar sonucu NO₂'ye dönüşerek (08:00-19:00 saatleri arasındaki) hafta içi yüksek NO₂ derişimlerini açıklamaktadır.

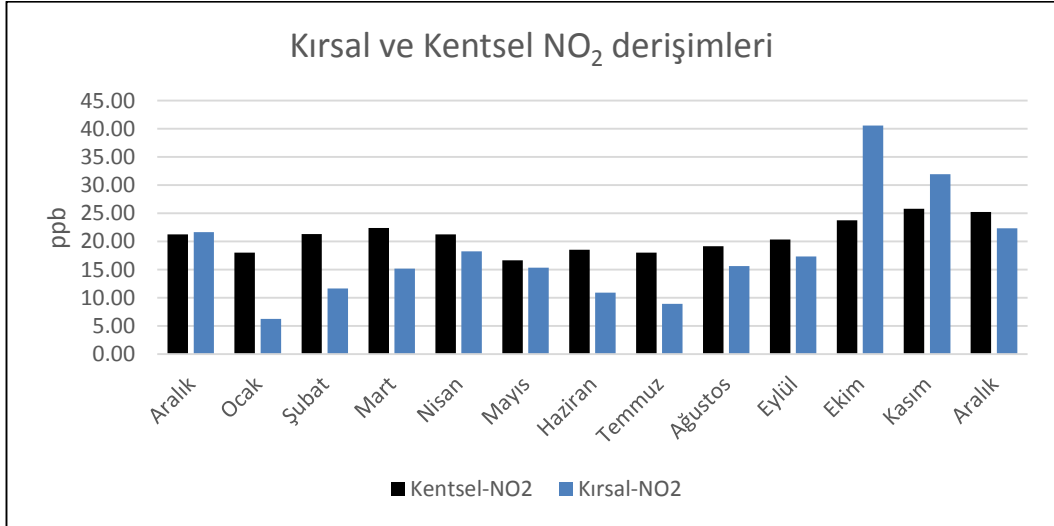
İstasyonlarda ölçülen değerler, yönetmelikte yer alan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Tez içerisindeki Ek-2'de yer alan NO₂ hedef değerler kırsal istasyonda ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında, saatlik verilerde (saatlik hedef değer 290 µg/m³) 14 defa sınır aşımı gözlenmiştir. Ancak yönetmelikte yer alan "bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz" koşuluna uymaktadır. Yıllık (insan sağlığının korunması için) hedef değerler (yıllık hedef değer 58 µg/m³) ile karşılaştırıldığında ise herhangi bir limit aşımı gözlenmemektedir. Kentsel istasyondaki saatlik ve yıllık ortalama değerleri hedef değerler ile karşılaştırıldığında ise bu değeri hiç aşmadığı görülmektedir.

Tez içerisindeki Ek-2'de yer alan NO_x hedef değerleri (vegetasyonun korunması için - yıllık hedef değer 30 µg/m³), kırsal ve kentsel istasyonda ölçülen yıllık ortalama değerleri ile karşılaştırıldığında ise her iki istasyonda da aştığı görülmektedir.

NO ve NO₂ konsantrasyonları aydan aya her iki istasyonda da farklı eğilimler göstermiştir. NO için Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında kırsal istasyonda kentsel istasyona göre daha yüksek seviyelerde ölçülürken, diğer gözlemlerde bu durumun tersi bir durum görülmüştür. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen bu durum Şekil 5.17'de gösterilmiştir. NO₂ için ise Ekim ve Kasım ayları dışındaki tüm aylarda kentsel istasyonda ölçülen NO₂ seviyeleri kırsal istasyonda ölçülen NO₂ seviyelerinden daha yüksektedir.



(a)



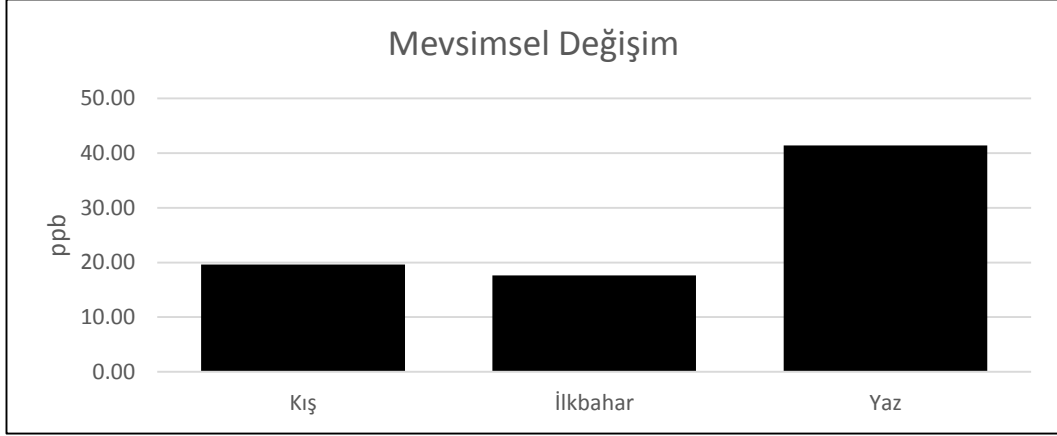
(b)

Şekil 5.17. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen aylık NO (a) ve NO₂ (b) derişimleri

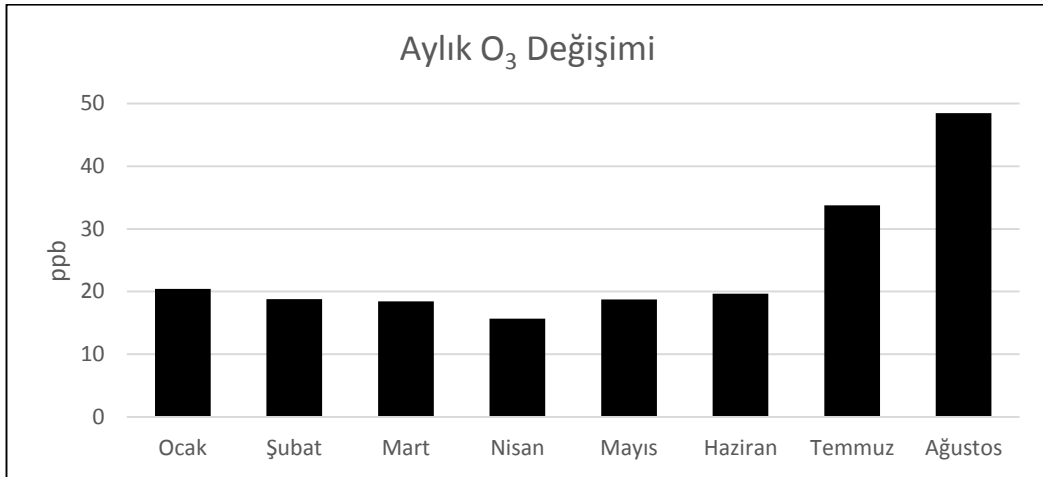
5.2.2. Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonları O₃ (Ozon) ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

Kırsal istasyon için, Şekil 5.18’de mevsimsel O₃ değışı, Şekil 5.19’da aylık O₃ ortalamaları ve Şekil 5.20’de günlük O₃ ortalamaları gösterilmiştir. Şekil 5.19 incelendiğinde ozonun yaz aylarında fotokimyasal reaksiyonlarının artması sebebi ile Temmuz ayı itibarı ile arttığı gözlenmektedir. Ocak ayındaki yüksek ozon

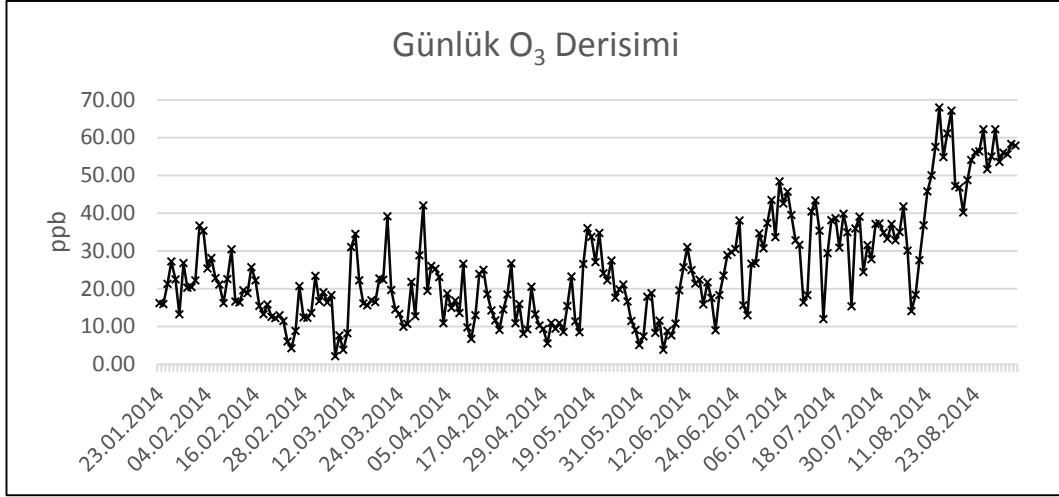
derişimi ortalamalarının bu ay içerisindeki yüksek sıcaklıklar ve güneşlenme zamanlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.18. Kırsal istasyonda ölçülen O₃ derişimlerinin mevsimsel değişimi

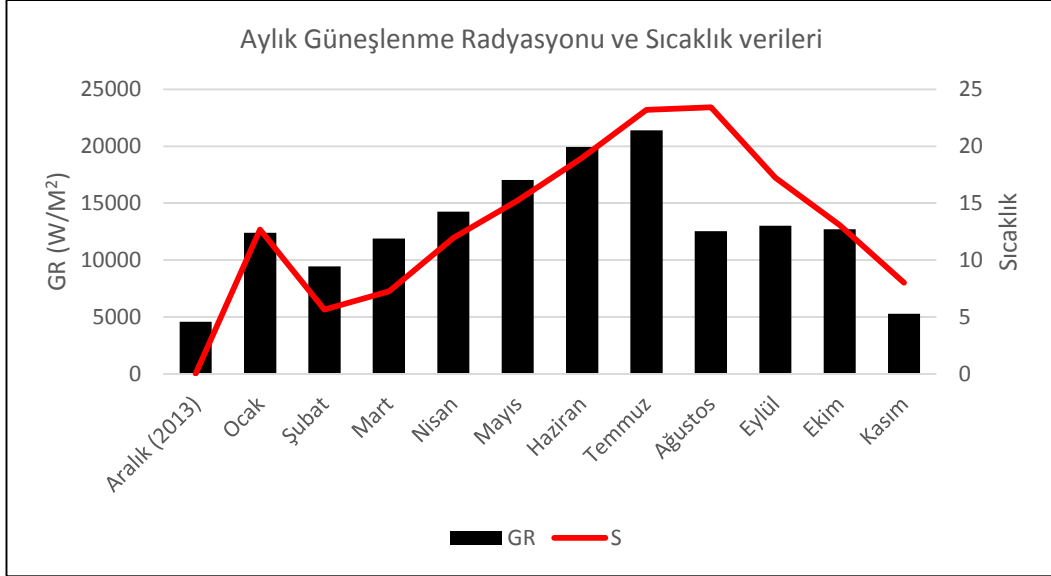


Şekil 5.19. Kırsal istasyonda ölçülen O₃ derişimlerinin aylık değişimi



Şekil 5.20. Kırsal istasyonda ölçülen O₃ derişimlerinin günlük ortalamaları

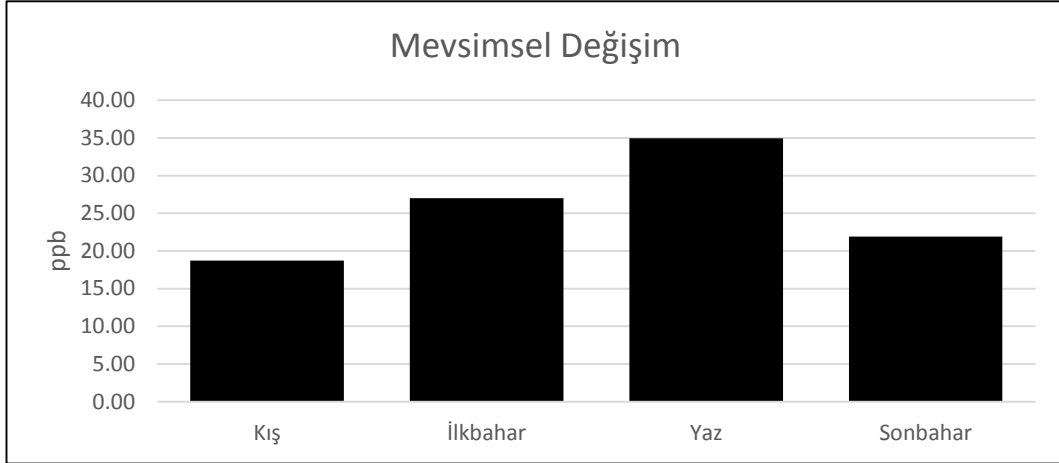
2014 yılı için temin edilen ve aylık ortalamaları alınan güneşlenme radyasyonu ve sıcaklık verileri Şekil 5.21’de gösterilmiş olup yukarıda savunulan tezi doğrular niteliktedir.



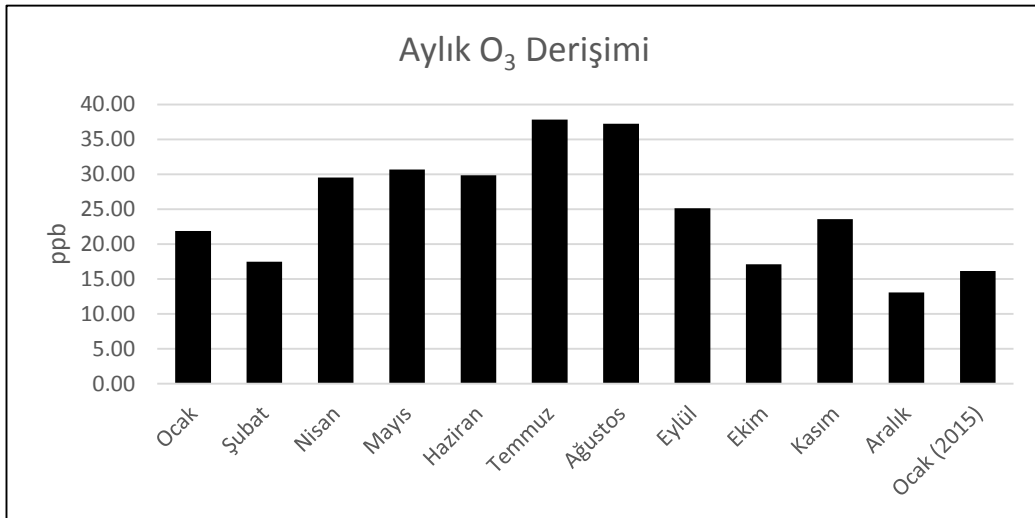
Şekil 5.21. Aylık güneşlenme radyasyonu ve sıcaklık grafiği

Kentsel istasyon için, Şekil 5.22’de mevsimsel O₃ değişimi, Şekil 5.23’de aylık O₃ ortalamaları, Şekil 5.24’de günlük O₃ ortalamaları ve Şekil 5.25’de kentsel istasyondaki NO ve NO₂ derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri gösterilmiştir. Şekil 5.23. incelendiğinde ozonun Nisan ayından itibaren arttığı

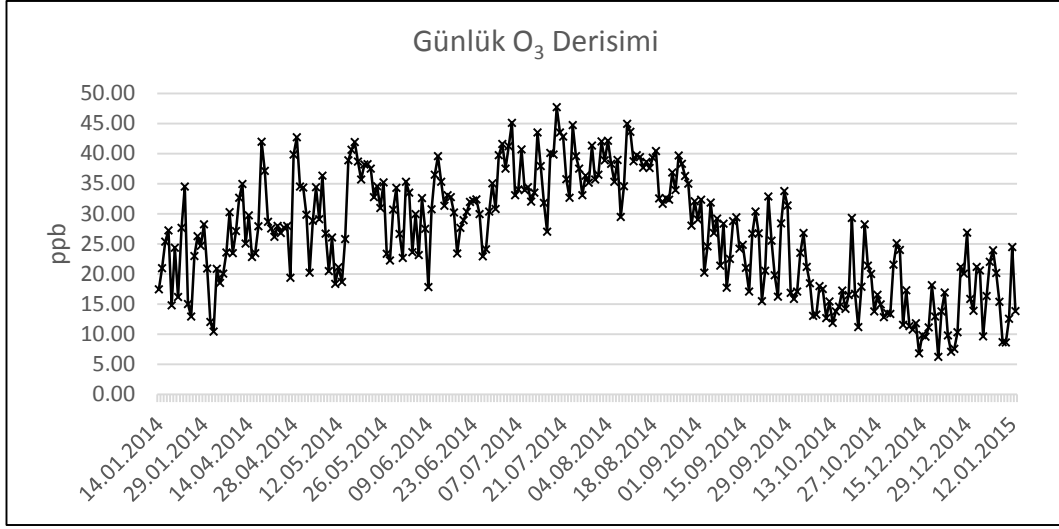
gözlenmektedir. O₃, güneşlenme şiddetinin arttığı Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında kış mevsimindeki atmosferik konsantrasyonunun neredeyse iki katının üzerindeki yüksek seviyelere çıkmıştır.



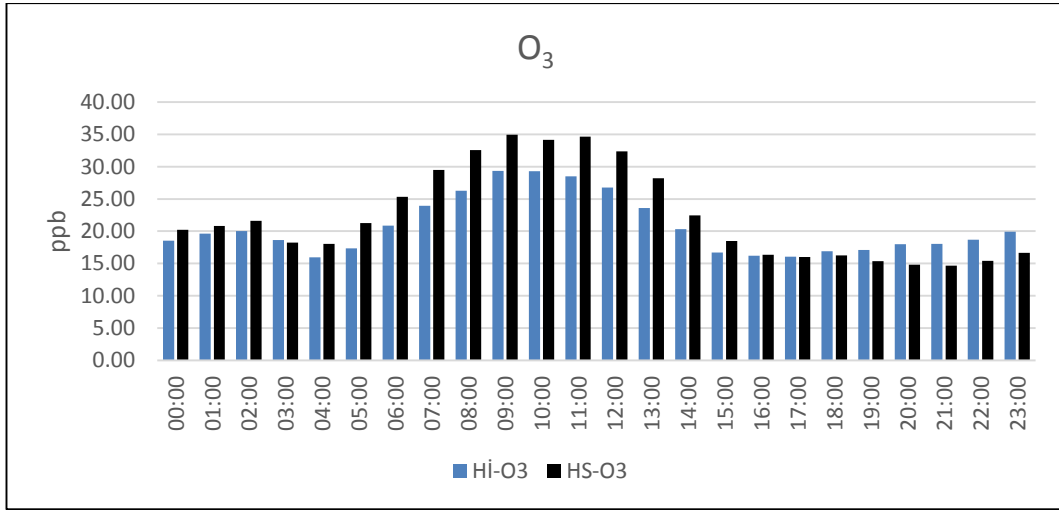
Şekil 5.22. Kentsel istasyonda ölçülen O₃ derişimlerinin mevsimsel değişimi



Şekil 5.23. Kentsel istasyonda ölçülen O₃ derişimlerinin aylık değişimi



Şekil 5.24. Kentsel istasyonda ölçülen O₃ derişimlerinin günlük ortalamaları



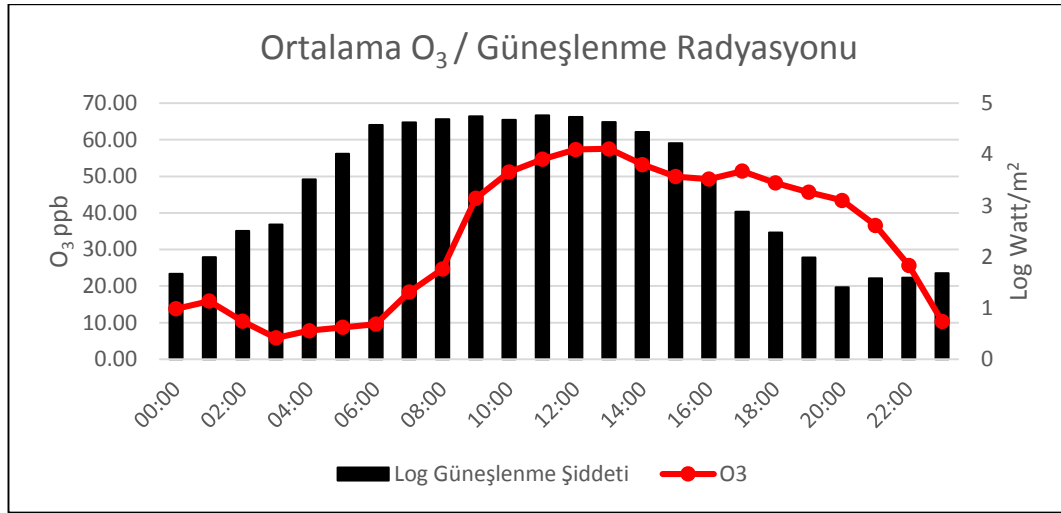
Şekil 5.25. Kentsel istasyondaki O₃ derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri

Şekil 5.25 incelendiğinde 05:00-15:00 saatleri arasındaki hafta sonu O₃ derişimleri ortalamalarının hafta içi O₃ derişimi ortalamalarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Şekil 5.16'dan da görülebileceği gibi düşük seviyedeki NO ve NO₂ derişimleridir. Hafta sonu ile birlikte trafik aktivitelerinin azalması sonucu NO ve NO₂ derişimleri azalmış olup O₃ derişimlerinin artmasına neden olmuştur.

İstasyonlarda ölçülen değerler yönetmelikte yer alan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Tez içerisindeki Ek-3'de yer alan O₃ hedef değerler (120 µg/m³)

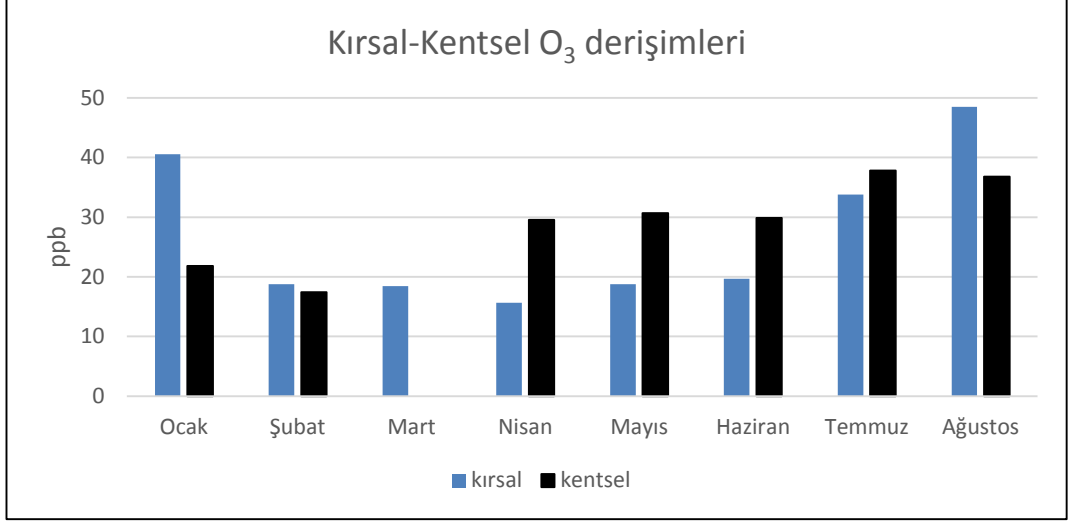
kırsal istasyonda ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında, bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalama verilerinde 72 defa bir sınır aşımı gözlenmiştir. Kentsel istasyondaki veriler hedef değerler ile karşılaştırıldığında ise bu değeri 11 defa aştığı görülmektedir.

Şekil 5.26'da kentsel istasyonda ortalama saatlik O₃ derişimlerine karşılık ortalama saatlik güneşlenme radyasyonu değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde, gün içerisinde güneşlenme şiddetinin maksimum olduğu öğlen saatlerinde O₃ konsantrasyonlarının da maksimum, güneşlenmenin olmadığı gece saatlerinde ise O₃ konsantrasyonlarının minimum seviyelerde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.26. Saatlik O₃ / güneşlenme radyasyonu

İkincil bir kirlenici olması sebebiyle ozon konsantrasyonları aydan aya her iki istasyonda da farklı eğilimler göstermiştir. Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında kentsel istasyonda kırsal istasyona göre bir miktar daha yüksek seviyelerde ölçülürken, diğer gözlemlerde bu durumun tersi bir durum görülmüştür. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen bu durum Şekil 5.27'de gösterilmiştir.

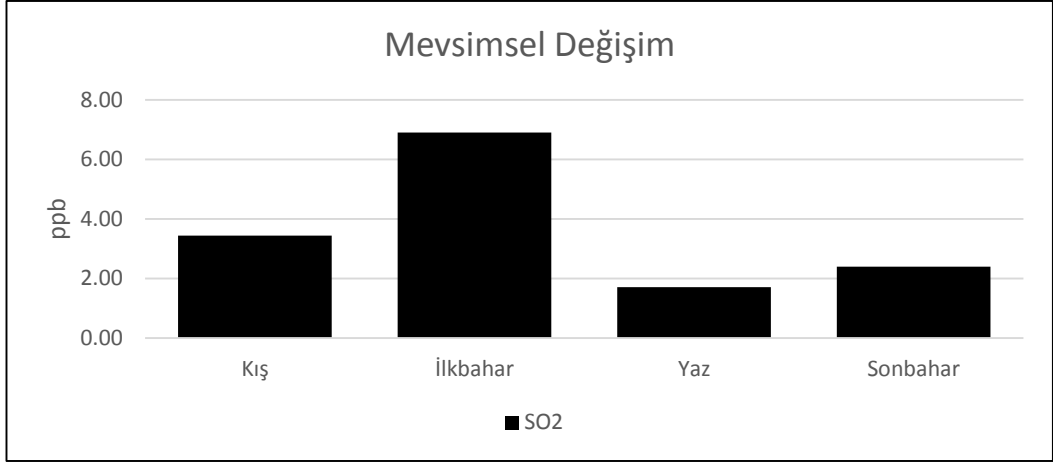


Şekil 5.27. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen aylık O₃ derişimleri

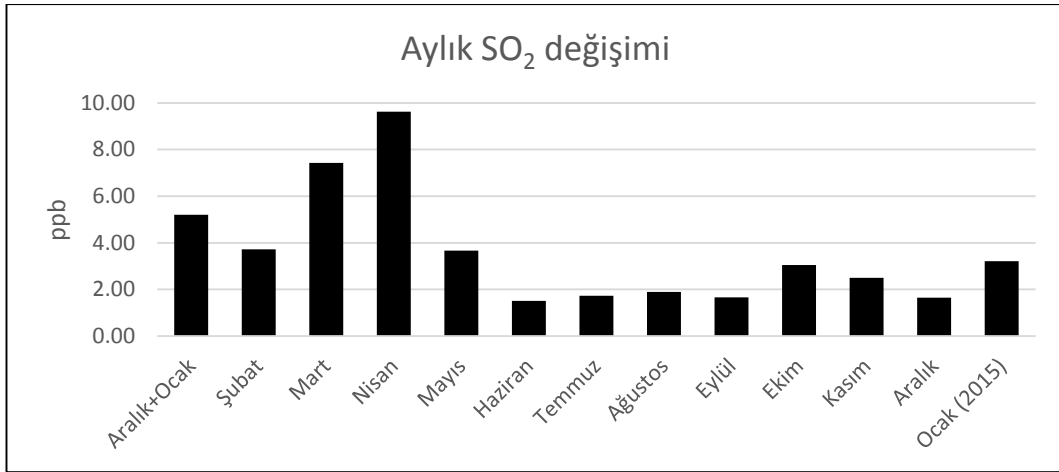
Mart ayında cihazda meydana gelen bir arıza sebebiyle kentsel istasyonda O₃ ölçümü yapılamadığından iki istasyon arasında karşılaştırma yapılamamıştır.

5.2.3. Kırsal ve kentsel hava kalitesi izleme istasyonları SO₂ (Kükürt dioksit) ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

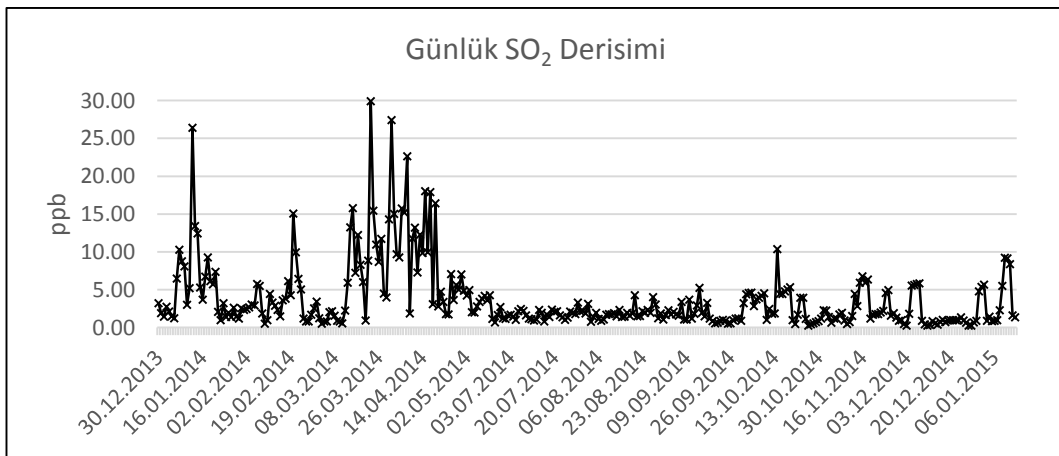
Kırsal istasyon için Şekil 5.28'de mevsimsel SO₂ değişimi, Şekil 5.29'da Aylık SO₂ ortalamaları ve Şekil 5.30'da günlük SO₂ ortalamaları gösterilmiştir. Nisan ayında maksimum ortalamaya ulaşan SO₂, NO_x ile benzer eğilimler göstermiştir. Bu eğilimler Bölüm 5.2.1'de açıklanmış olup, istasyonun kuzeyinde bulunan ve kuzey sektörlü rüzgarlar ile taşınan emisyonlarından geldiği düşünülmektedir.



Şekil 5.28. Kırsal istasyonda ölçülen SO₂ derişimlerinin mevsimsel değişimi



Şekil 5.29. Kırsal istasyonda ölçülen SO₂ derişimlerinin aylık değişimi

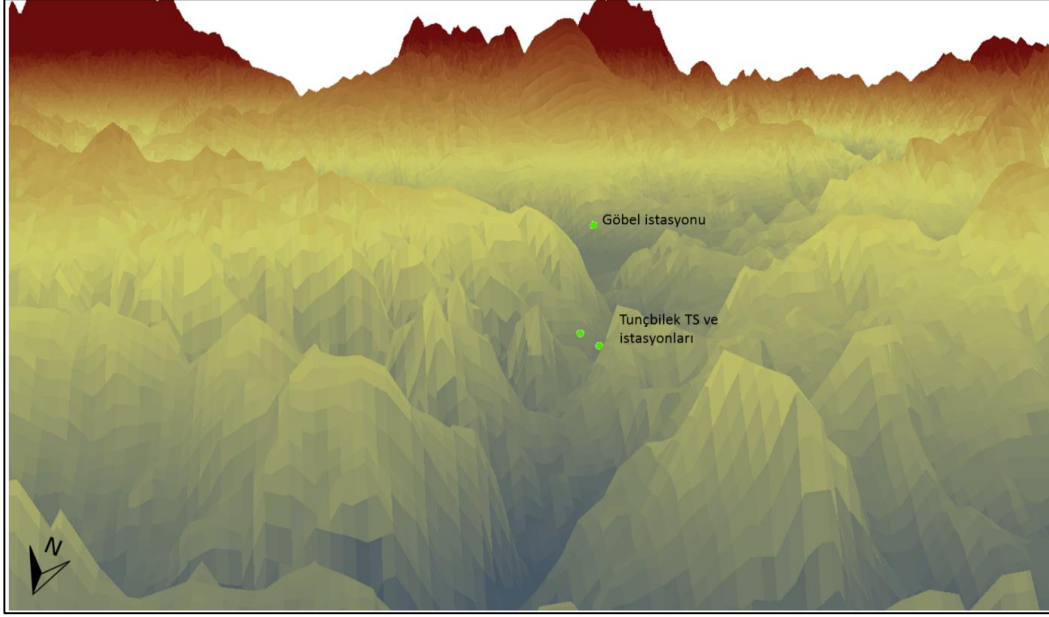


Şekil 5.30. Kırsal istasyonda ölçülen SO₂ derişimlerinin günlük ortalamaları

Kırsal istasyonda derişimler kış aylarında kentsel istasyona göre oldukça düşüktür. Bahar ayları sayılabilecek Mart, Nisan ve Mayıs aylarında, istasyonda ölçülen NO_x'e benzer şekilde SO₂ derişimleri de yükselmeye başlamıştır. Bu gözlemlerden sonra kırsal istasyonun yaklaşık 10 km kuzeyinde yer alan Tunçbilek termik santralinden kaynaklı emisyonların istasyona taşınması vakaları incelenmiştir.

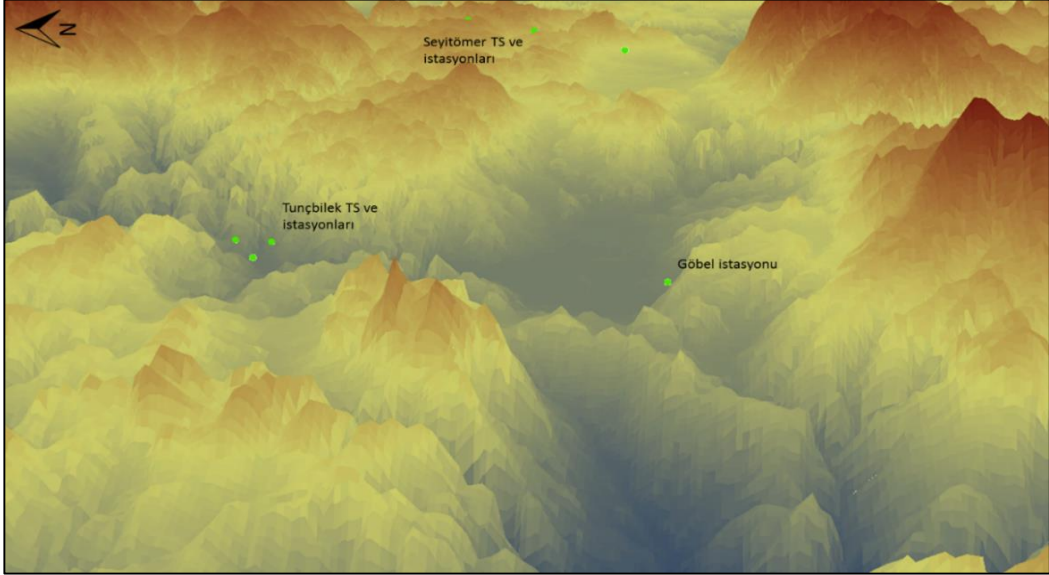
Kırsal istasyon, boğaz olarak tanımlanabilecek bir topografik oluşumun alt ucunda yer almaktadır. Dağların arasındaki boğazdan kirleticilerin taşınabileceği bir topografik yapı nedeniyle, Şekil 5.31'den de görülebileceği gibi kuzey sektörlü rüzgarlarda Tunçbilek Termik Santralinden çıkan kirleticiler kırsal istasyona ulaşabilmektedir.

Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de görülen DEM (Digital Elevation Model) haritaları topografik farkın anlaşılması için ArcScene 3D programı yardımıyla, yükseklik değerleri 10 ile çarpılarak hazırlanmıştır.



Şekil 5.31. DEM haritaları yardımı ile kırsal İstasyon ve Tunçbilek Termik Santralini gösteren 3-boyutlu topografik harita

Şekil 5.32’de, Kırşal İstasyon ve civarında bulunan 2 adet termik santral ve her iki santrale ait iki hava kalitesi izleme İstasyonu görülmektedir.

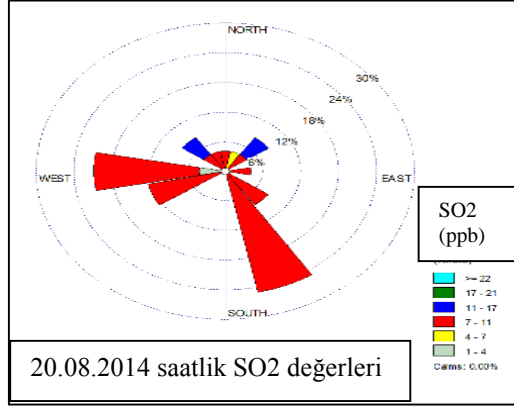
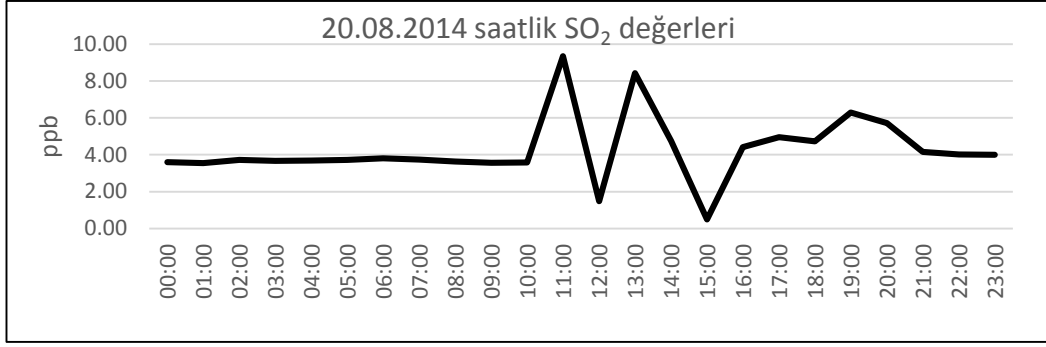


Şekil 5.32. DEM haritaları yardımı ile kırsal İstasyon, Tunçbilek Termik Santrali ve Tavşanlı-Kütahya İstikametinde bulunan Seyitömer Termik Santralini gösteren 3-boyutlu topografik harita

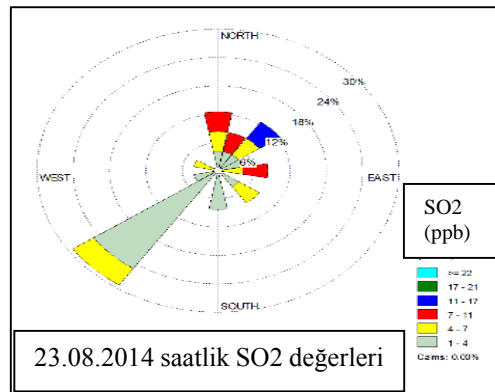
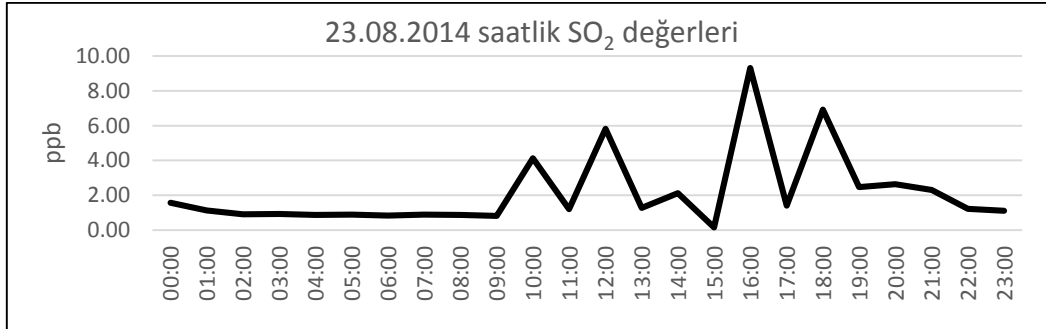
Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'den de görüldüğü gibi rüzgarın kuzey-güney doğrultusunda estiği durumlarda kırsal istasyonda yüksek NO_x ve SO_2 konsantrasyonlarının ölçülmesi beklenen bir durumdur. Tavşanlı ilçesinde Devlet Meteoroloji İşletmeleri Kurumu'na (DMI) ait bir otomatik gözlem istasyonu yer almaktadır. Aralık ayından Nisan ayına kadar olan meteorolojik değişkenler DMI'den alınmış, Nisan ayından sonraki veriler kırsal istasyona monte edilen bir portatif meteorolojik sensörle temin edilmiştir.

Kırsal istasyon civarında kış aylarındaki meteorolojik veriler kullanılarak çizilen örnek rüzgar gülleri aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

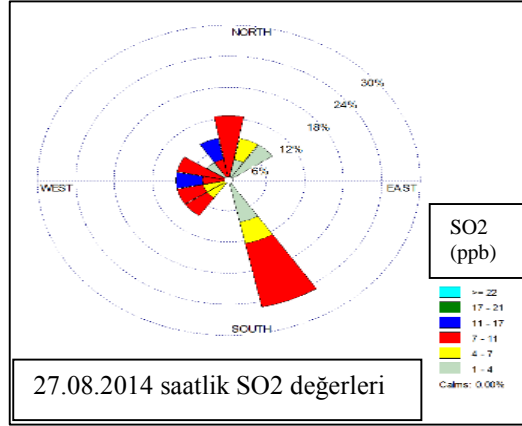
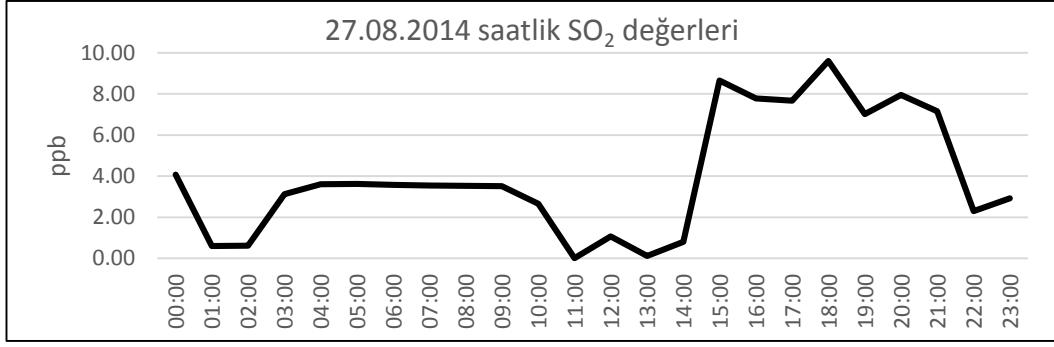
Şekil 5.33'de yaz dönemi içerisinde, yüksek derişim ortalamalarına sahip günler büyükten küçüğe sıralanarak (20.08.2014, 23.08.2014 ve 27.08.2014) incelendiğinde; gün içerisinde 10:00-12:00 ve 15:00-19:00 saatleri arasında belirgin bir yükseliş görülmektedir. Seçilen bu günler için istasyonda yer alan meteoroloji izleme istasyonundan alınan veriler ile hazırlanan kirlilik gülleri ile yüksek derişimlerin geldiği yönler genellikle kuzey, kuzey-doğu, kuzey-batı ve kuzey-kuzey-batı yönleri, yani Tunçbilek Termik Santrali ile Tavşanlı ilçesinin bulunduğu konum olarak görülmektedir. Şekillerde frekansı yüksek olan yönlerden gelen kirleticiler yüksek derişimlerde değildir. Frekansı düşük olan kuzeyli rüzgarlar ile yüksek derişimler istasyona ulaşmaktadır.



(a)



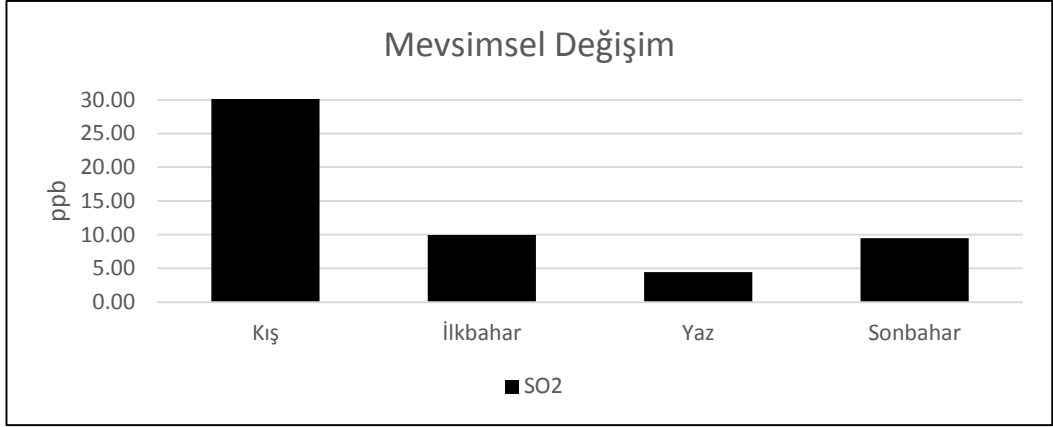
(b)



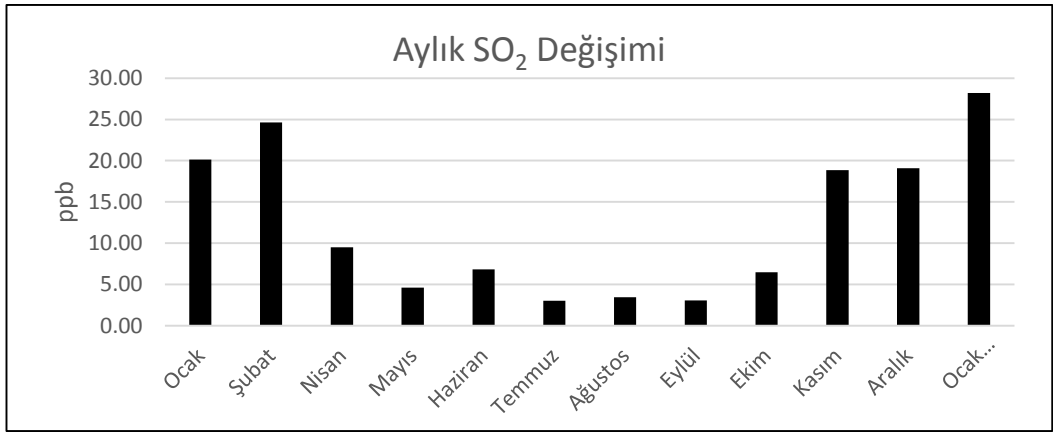
(c)

Şekil 5.33. Seçilen günler için saatlik SO₂ derişimleri ve o günler için kirlilik gülü haritaları (a, b, c) – kırsal istasyon

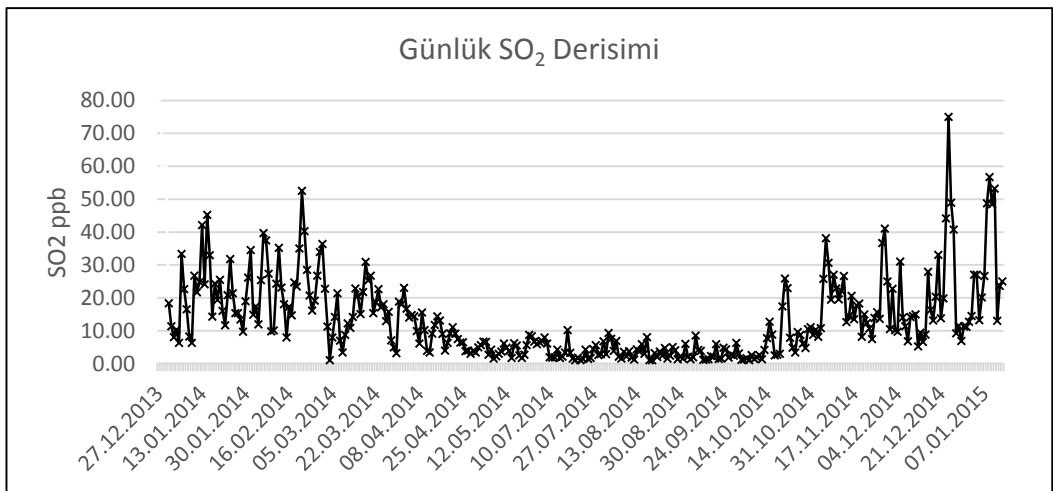
Kentsel istasyon için, Şekil 5.34’de mevsimsel SO₂ değişimi, Şekil 5.35’de aylık SO₂ ortalamaları, Şekil 5.36’da günlük SO₂ ortalamaları ve Şekil 5.37’de kentsel istasyondaki SO₂ derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri gösterilmiştir. Şehir merkezinde kurulan bu istasyonda, evsel ısınmanın etkisi doğrudan gözlenmektedir. Şekil 5.35 incelendiğinde şehir merkezinde kullanılan kömür etkisiyle SO₂ derişimleri Ocak, Şubat ve Mart aylarında yüksek oranda gözlenmekte olup Nisan ayında bile bu etki hala görülebilmektedir.



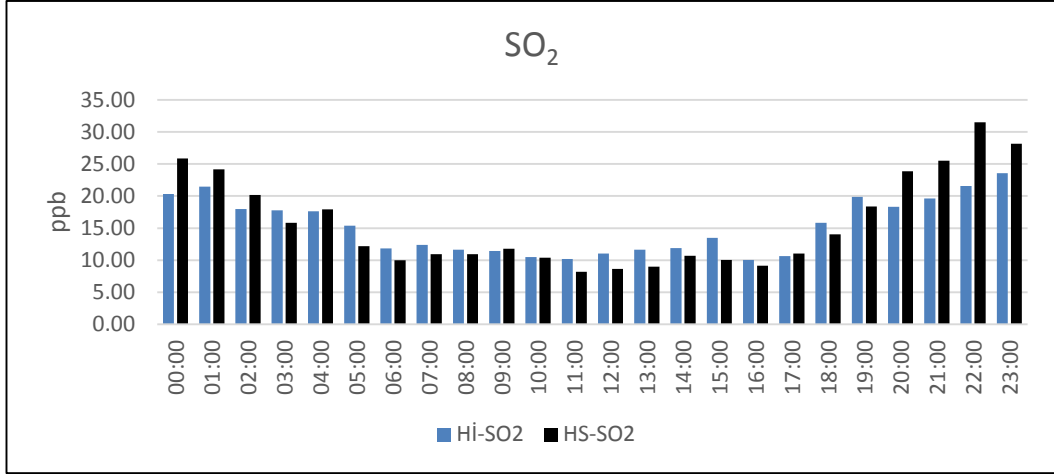
Şekil 5.34. Kentsel istasyonda ölçülen SO₂ derişimlerinin mevsimsel değişimi



Şekil 5.35. Kentsel istasyonda ölçülen SO₂ derişimlerinin aylık değişimi

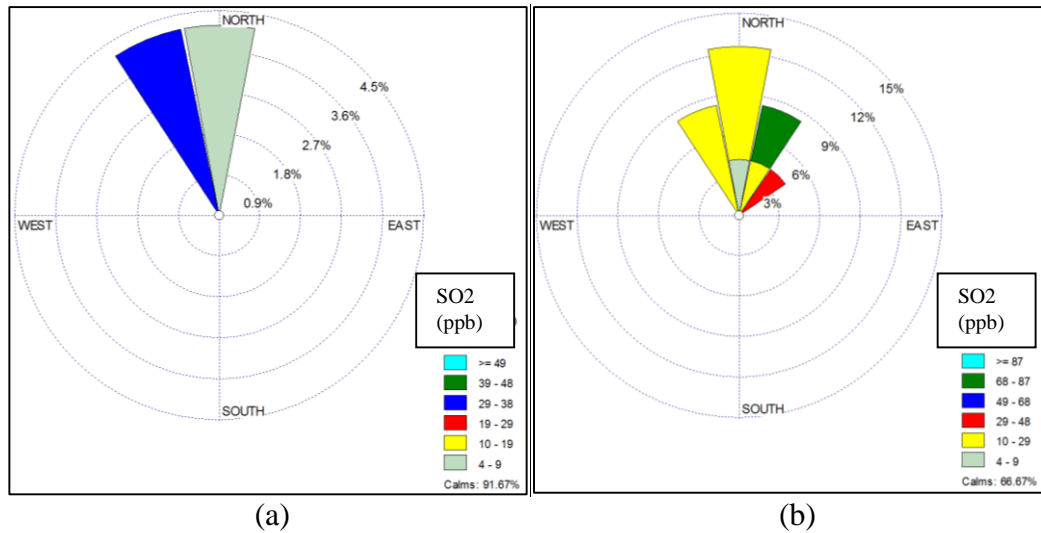


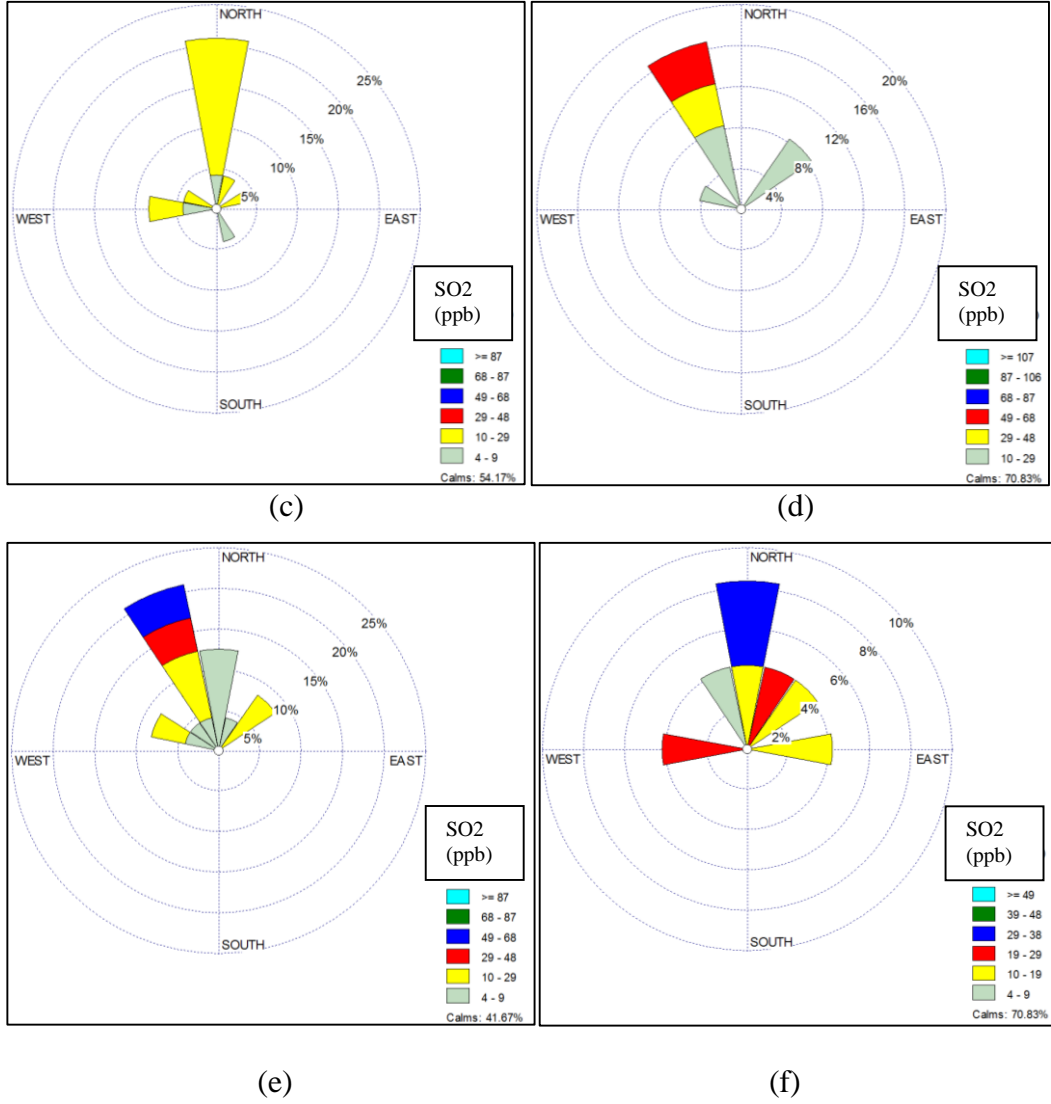
Şekil 5.36. Kentsel istasyonda ölçülen SO₂ derişimlerinin günlük ortalamaları



Şekil 5.37. Kentsel istasyondaki SO₂ derişimlerinin hafta içi hafta sonu derişimleri

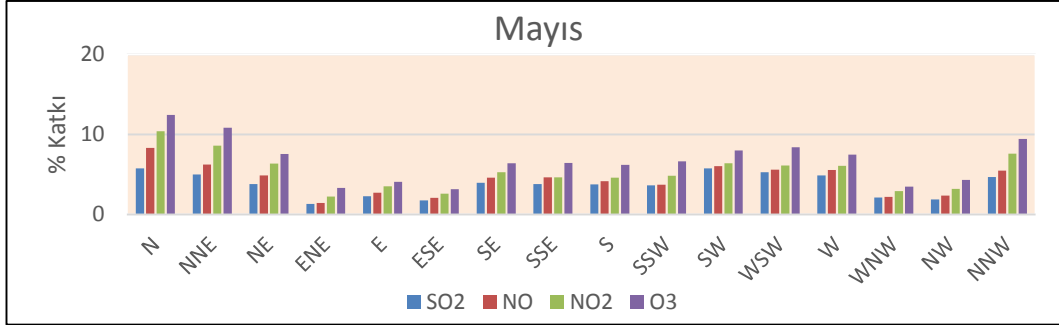
Devam eden yaz dönemi sürecinde de belirgin bir yükseliş görülememekle birlikte, saatlik veri setinde içerisinde pik yapan günlere ait meteorolojik veriler (rüzgar hızı, rüzgar yönü vb.) ile termik santrallerden kaynaklı bir SO₂ taşınımı olup olmadığı araştırılmıştır. 25 Mayıs ile 1 Eylül tarihleri arasında pik yapan günler büyükten küçüğe sıralanarak bulunmuş ve Şekil 5.38’de SO₂ kirletici gücü olarak gösterilmiştir.



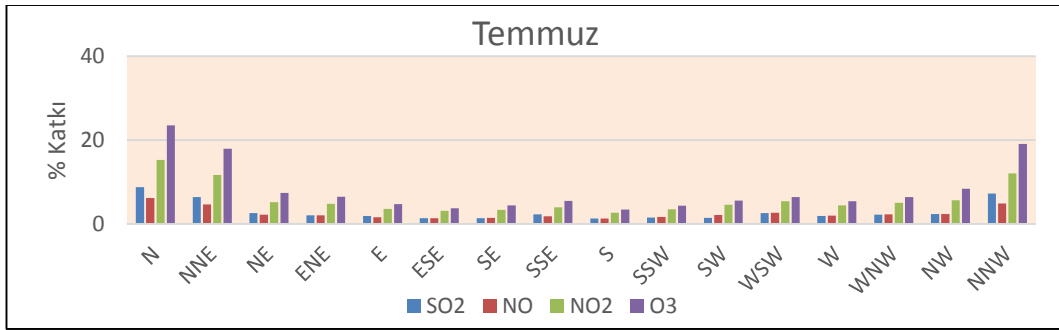


Şekil 5.38. 25 Mayıs (a), 17 Temmuz (b), 31 Temmuz (c), 2 Ağustos (d), 3 Ağustos (e) ve 1 Eylül (f) tarihlerinde pik yapan günlere ait SO₂ kirletici gülleri

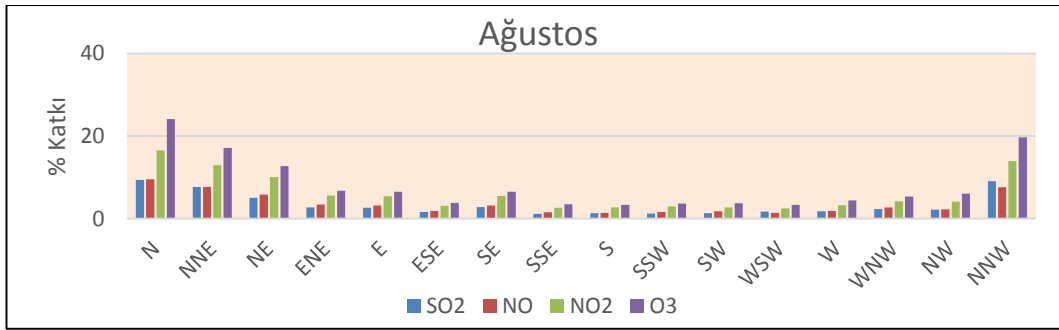
Yaz aylarında evsel ısınma faktörü ortadan kalktığından dolayı, yüksek SO₂ derişimlerinin sebebinin kuzey-kuzey-doğu yönünde bulunan Tunçbilek Termik Santralinden kaynaklanan emisyonların istasyona doğru taşınması olduğu düşünülmektedir. Şekil 5.38 incelendiğinde yukarıdaki tezi destekler nitelikteki grafikler görülmektedir. Bu dönemler içerisinde, kirleticilerin katkısını görmek için hazırlanan aylık rüzgar sektör grafikleri Şekil 5.39 ile de kuzey, kuzey-kuzey-batı esen rüzgarların bu taşınımı yaptığı görülebilmektedir.



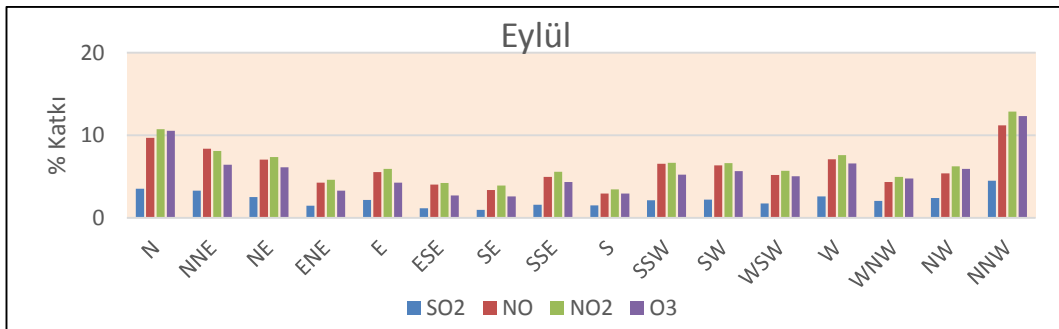
(a)



(b)



(c)

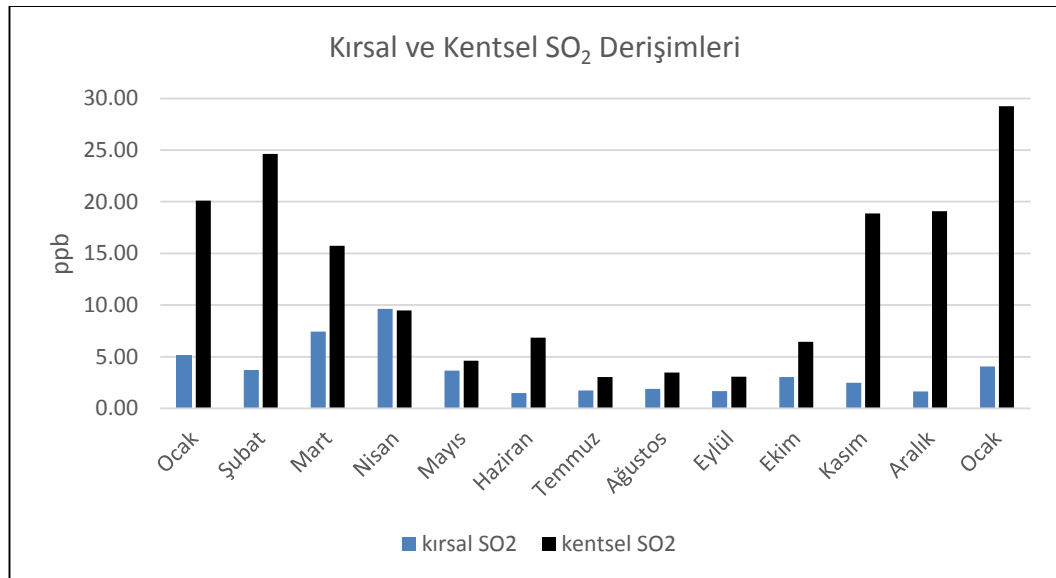


(d)

Şekil 5.39. Kentsel istasyon aylık rüzgar sektör grafikleri

İstasyonlarda ölçülen değerler yönetmelikte yer alan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Tezin Ek-1’inde yer alan SO₂ hedef değerler kırsal istasyonda ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında, saatlik (470 µg/m³), 24 saatlik (225 µg/m³), yıllık ve kış dönemi (20 µg/m³) (1 Ekim’den 31 Mart’a kadar) verilerinde bir sınır aşımı gözlenmemiştir. Kentsel istasyondaki saatlik veriler hedef değerler ile karşılaştırıldığında ise saatlik sınır değeri 4 defa aştığı görülmektedir. Ancak yönetmelikte yer alan “bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz” koşuluna uymaktadır. 24 saatlik verilerde ise herhangi bir limit aşımı gerçekleşmezken, yıllık ve kış dönemi ortalamaları yönetmelikte yer alan sınır değerinin üzerine çıkmaktadır (yıllık ortalama sınır değeri 20 µg/m³ iken, istasyon yıllık ortalama sınır değeri 35.6 µg/m³, istasyon kış ortalama sınır değeri 50.2 µg/m³’tür).

SO₂ derişimleri kış ve yaz sezonundaki artış ve azalmasıyla birlikte aydan aya her iki istasyonda da farklı eğilimler göstermiştir. Kış sezonunda her iki istasyondaki SO₂ değerleri artışa geçerken, yaz sezonunun gelişi ile birlikte her iki istasyonda da düşüş gözlenmektedir. Ölçümü yapılan tüm periyod boyunca, kentsel istasyonda ölçülen SO₂ derişimleri kırsal istasyondanda ölçülen SO₂ derişimlerinden yüksektir. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen bu durum Şekil 5.40’da gösterilmiştir.



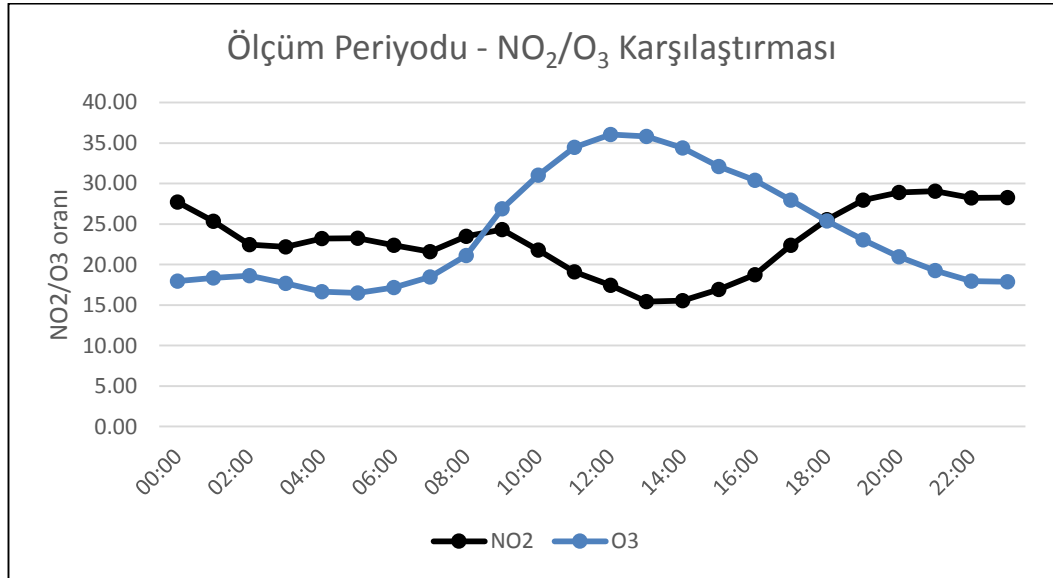
Şekil 5.40. Kırsal ve kentsel istasyonlarda gözlenen aylık SO₂ derişimleri

5.2.4. Kentsel (merkez) ve kırsal (göbel) istasyonlarındaki NO₂-O₃ arasındaki ilişkinin açıklanması

İstasyonlarda sürekli olarak ölçülen NO₂ ve ozon birbirleriyle ters ilişki içinde olan kirleticilerdir. Her iki istasyonda ölçüm dönemi boyunca kaydedilen NO₂ ve ozon derişimlerinin saatlik değişim profili (ölçüm periyodundaki her saatin kendi içerisinde ortalaması alınmıştır) incelenmiştir.

5.2.4.1. Kentsel (merkez) istasyon

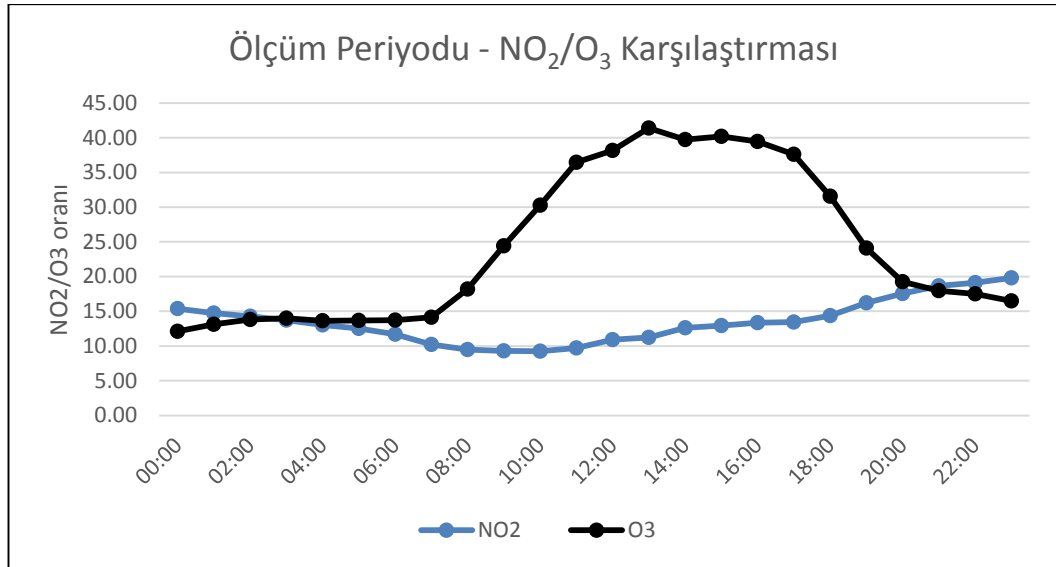
Şekil 5.41 incelendiğinde gün ışığının ortaya çıkışı ve havanın ısınması ile birlikte (08:00) ozon değerleri giderek yükselirken, tam tersi bir şekilde NO₂ değerleri azalmaya başlamaktadır. Güneş radyasyonunun artması ile NO₂ fotoliz sonucunda azalmaktadır. Radyasyonun giderek azalması ve havanın soğumaya başlaması (18:00) ile de bu durum tekrar tersine dönmektedir. Ozon üretimi azalmaya başlarken, NO₂ derişimleri artmaya başlamaktadır.



Şekil 5.41. Kentsel istasyonda seçili gün için saatlik NO₂/O₃ karşılaştırması

5.2.4.2. Kırsal (göbel) istasyon

Kırsal istasyonda da kentsel istasyon ile aynı durum söz konusudur. Kırsal istasyonda da bu ters ilişkiyi görebilmektedir. Şekil 5.42 incelendiğinde gün ışığının ortaya çıkışı ve havanın ısınması ile birlikte (08:00) ozon değerleri giderek yükselirken, tam tersi bir şekilde NO₂ değerleri azalmaya başlamaktadır. Devam eden saatlerde NO₂'nin oluşumu ya da ozonun oluşumun azalması ile çeşitli iniş ve çıkışlar gözlenmektedir. Havanın soğumaya başlaması (20:00) ile de bu durum tekrar tersine dönmektedir. Ozon üretimi azalmaya başlarken, NO₂ derişimleri artmaya başlamaktadır.

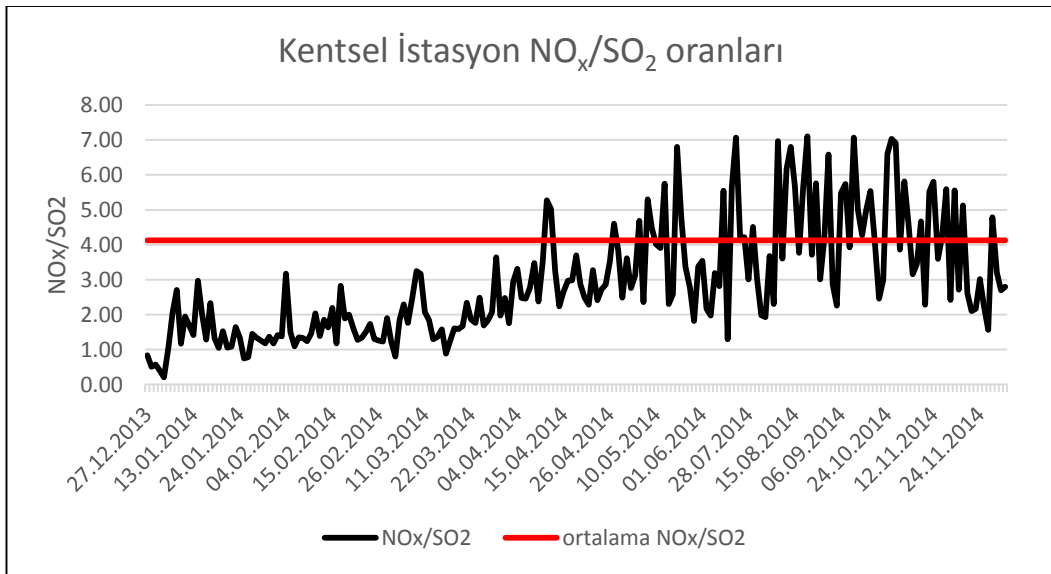


Şekil 5.42. Kırsal istasyonda seçili gün için saatlik NO₂/O₃ karşılaştırması

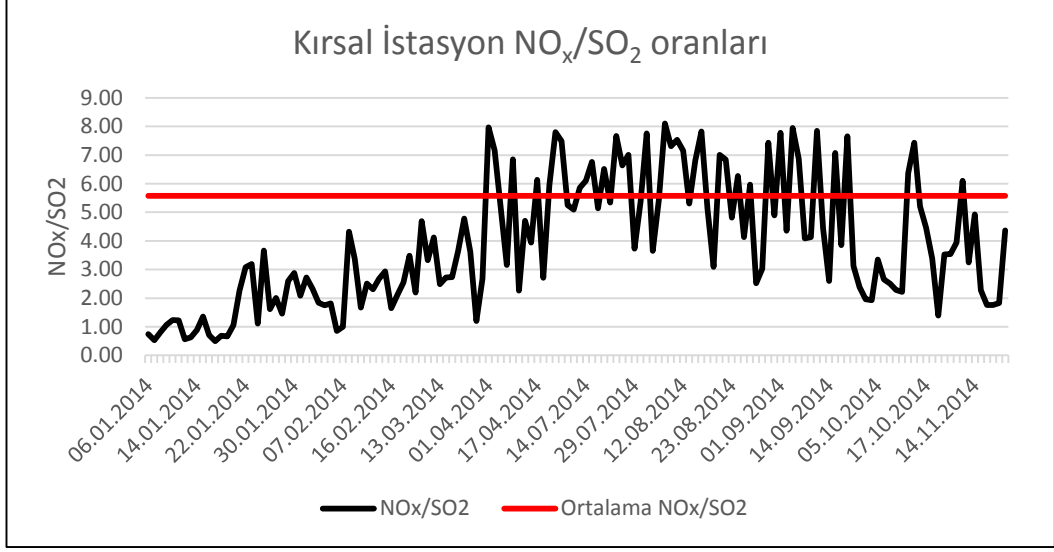
5.2.5. Kentsel (merkez) ve kırsal (göbel) istasyonlarındaki NO_x-SO₂ oranları arasındaki ilişkinin açıklanması

NO_x ve SO₂ kirleticileri, trafik ve evsel ısınmadan kaynaklandığı bilinmektedir. Kirletici seviyelerinde, kış aylarında konut ısınması ve trafiğe bağlı olarak artışlar görüldüğünden dolayı, basit bir indeks olan NO_x/SO₂ oranı ile kirletici kaynakların belirlenmesine çalışılmıştır. (Ocak ve Turalıoğlu, 2008).

NO_x/SO₂ oranı genellikle meteorolojik şartlara bağlı değildir. NO_x/SO₂ oranı sıcaklık değişimine karşı kaynakların değişimini göstermekte olup düşük NO_x/SO₂ oranı yüksek kükürt içeriğine sahip kömürlerin yakıldığı noktasal kaynakları tanımlamaktadır (Aneja ve ark., 2000; Ocak ve Turalıoğlu, 2008). Bu çalışmada günlük NO_x ve SO₂ derişimleri kullanılarak hesaplanan oranlar, kentsel istasyon için Şekil 5.43 ve kırsal istasyon için Şekil 5.44'te verilmiştir. Ocak ve Turalıoğlu (2008)'nun yaptığı benzer çalışmalarda NO_x/SO₂ oranı 0.1-1.6 arasında olup ortalaması 0.5±0.2 olarak hesaplanmıştır. Taşdemir ve ark. (2004) yapmış olduğu bir çalışma da ise bu NO_x/SO₂ oranı 0.3-13.4 arasında olup ortalaması 3.6 ±1.8 olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada, kentsel istasyon için NO_x/SO₂ oranı 0.20-7.10 arasında olup ortalaması 2.92±1.63 olarak hesaplanmıştır. Kırsal istasyon için ise NO_x/SO₂ oranı 0.50-8.10 arasında olup ortalaması 3.88±2.20 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.43 ve Şekil 5.44'de, sıcaklığın düşük olduğu ve ısınma amaçlı yakıt tüketiminin arttığı tahmin edilen günlerde (kış mevsimi) NO_x/SO₂ oranının düştüğü görülmektedir. Örnekleme periyodu süresince hesaplanan NO_x/SO₂ oranlarına karşı sıcaklık değerlerinin saçınım grafikleri çizildiğinde, aralarında bu ilişki rahatlıkla görülebilmektedir. Kentsel istasyon için bu korelasyon katsayısı 0.2519 iken kırsal istasyon için ise 0.4841'dir.



Şekil 5.43. Kentsel istasyonu için NO_x/ SO₂ oranları



Şekil 5.44. Kırsal istasyonu için NO_x/ SO₂ oranları

5.3. Ölçüm Sonuçlarının Pasif Örneklemeler ile Karşılaştırılması

Aktif ölçüm sonuçlarının temsil edilebilirlik seviyeleri, istasyonlarda eş zamanlı yapılan pasif örneklemeler ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan pasif örnekleyiciler, Özden (2005) tarafından yapılan tez çalışmasında geliştirilmiş ve validasyonu çeşitli çalışmalarda denenmiştir (Ozden ve Döğeroğlu, 2006; Gaga ve ark., 2012; Demircigil Çakmak ve ark., 2013; Demirel ve ark., 2014).

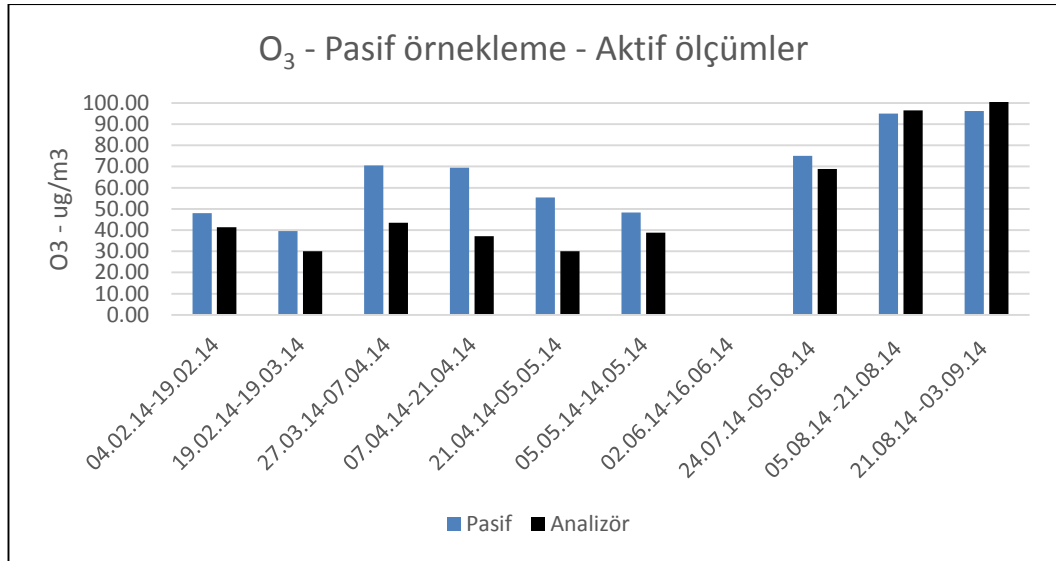
Bu çalışma için kırsal istasyonda SO₂, NO₂ ve O₃ kirleticileri için ortalama 14 günlük, birbirini takip eden 15 pasif örnekleme çalışması yapılmıştır. Ozon analizörünün 3 Eylül'de arızalanmasından sonra aktif ölçüm ve pasif örnekleme sonuçları 10 adet örnekle yapılmıştır. SO₂ analizöründe ise yaşanan sıfır hava üreticisi sorunu nedeniyle sadece 13 tane eş zamanlı aktif ölçüm/pasif örnekleme yapılabilmektedir. Kentsel istasyonda ise SO₂, NO₂ ve O₃ kirleticileri için ortalama 14 günlük, birbirini takip eden 12 pasif örnekleme çalışması yapılmıştır. Ozon analizörünün kırsal istasyona götürülmesi sebebiyle 1 adet örnekleme karşılaştırılmamıştır.

İstasyonlarda ölçümü yapılan aktif ölçüm ve pasif örnekleme sonuçları aşağıda açıklanmıştır.

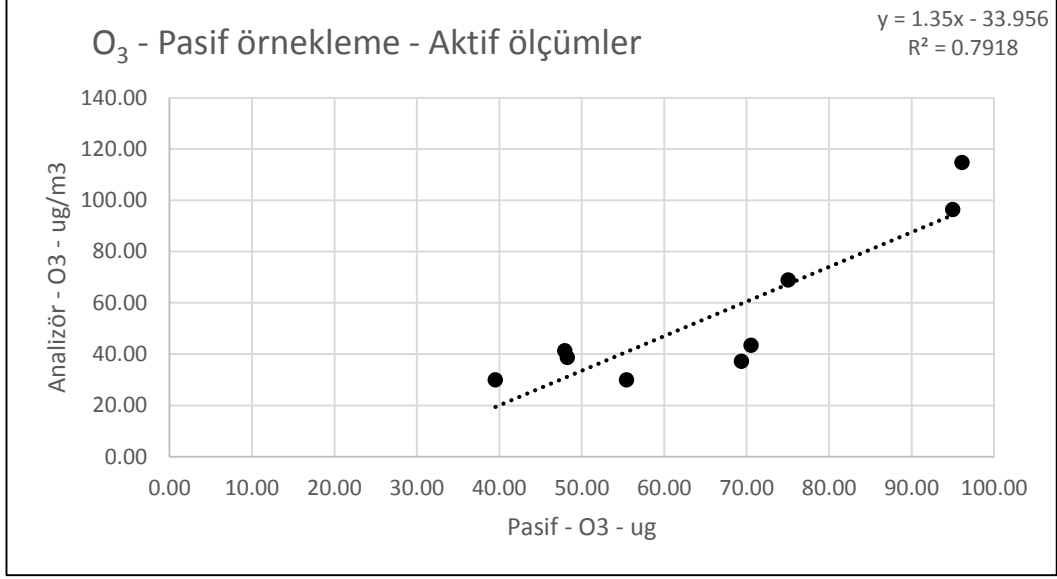
5.3.1. Kırsal istasyon aktif ölçüm sonuçlarının pasif örnekler ile karşılaştırılması

5.3.1.1. O₃

Kırsal istasyonda 27.12.2013 tarihinde başlayan aktif ölçümlere ek olarak 04.02.2014 tarihinden itibaren pasif örnekleme de yapılmaya başlanmıştır. 03.09.2014 tarihinde O₃ analizörünün arızalanması sebebi ile otomatik ölçümler tamamlanmıştır. Şekil 5.45’de eş zamanlı ölçümü yapılan pasif ve aktif ölçüm sonuçları yer almaktadır. Veriler arasında Statgraphics istatistiksel paket programında yapılan doğrusal regresyon sonucuna (p-değeri 0.0012; <0.05) göre %95 güven aralığında anlamlı bir fark yoktur. Veri seti içerisindeki aykırı değer veri setinden çıkartıldığında 0.6205 olan korelasyon değeri 0.7918’e yükselmektedir. Şekil 5.46’da ise pasif örnekleme ve aktif ölçüm sonuçlarına ait korelasyon grafiği gösterilmiştir.



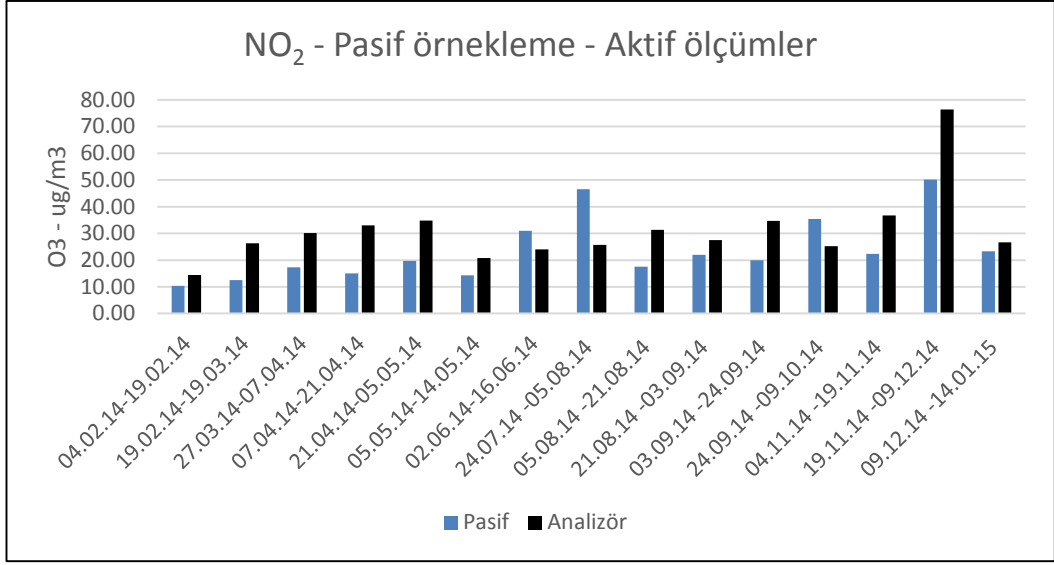
Şekil 5.45. Kırsal istasyon O₃ verilerinin karşılaştırılması



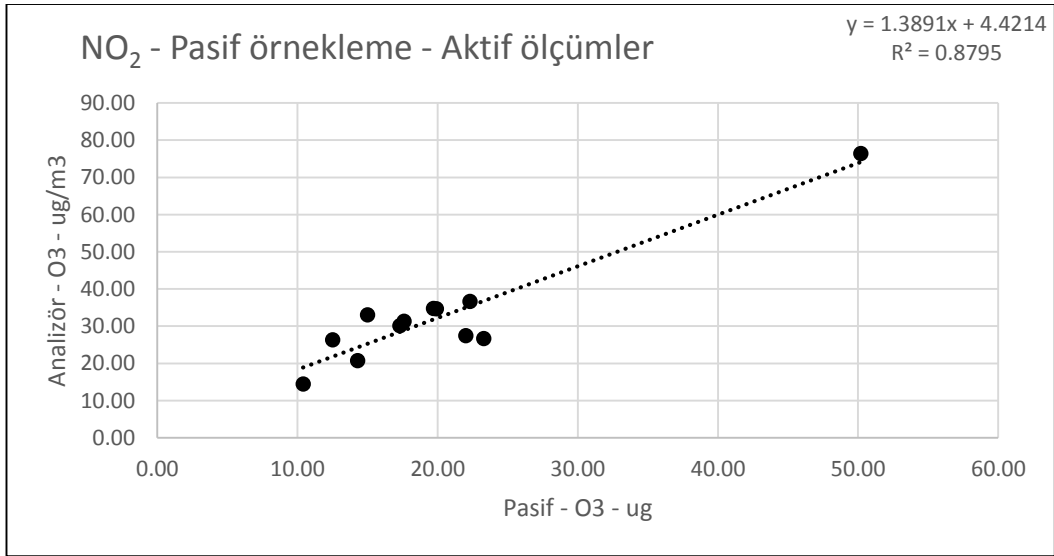
Şekil 5.46. Kırsal istasyon O₃ verilerinin korelasyonu

5.3.1.2. NO₂

Kırsal istasyonda 06.01.2014 tarihinde NO_x ölçümlerin başlamasıyla birlikte 04.02.2014 tarihiyle de pasif örnekleme yapılmaya başlanmıştır. 14.01.2015 tarihinde analizörlerden son verilerin alınmasıyla birlikte karşılaştırmalar tamamlanmıştır. Şekil 5.47’de eş zamanlı ölçümü yapılan pasif örnekleme ve aktif ölçüm sonuçları yer almaktadır. Şekil 5.47 incelendiğinde ölçümler arasında benzer trendler olduğu görülmektedir. Veri seti içerisindeki aykırı değerler veri setinden çıkartıldığında 0.3122 olan korelasyon değeri 0.8795’e yükselmektedir. Statgraphics istatistiksel paket programında yapılan doğrusal regresyon sonucuna (p-değeri 0.0304; <0.05) göre %95 güven aralığında anlamlı bir fark yoktur. Şekil 5.48’de ise pasif örnekleme ve aktif ölçüm sonuçlarına ait korelasyon grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.47. Kırsal istasyon NO₂ verilerinin karşılaştırılması

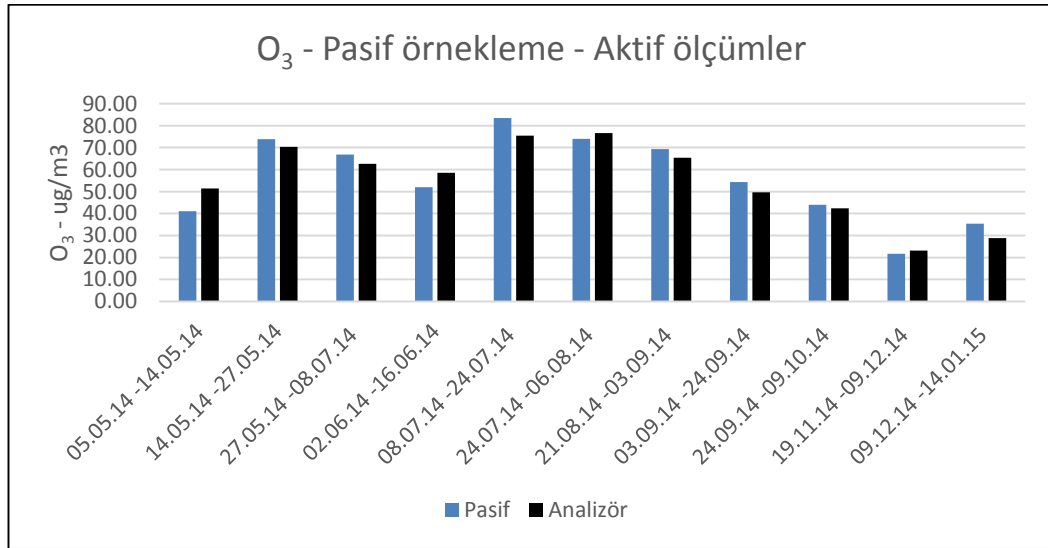


Şekil 5.48. Kırsal istasyon NO₂ verilerinin korelasyonu

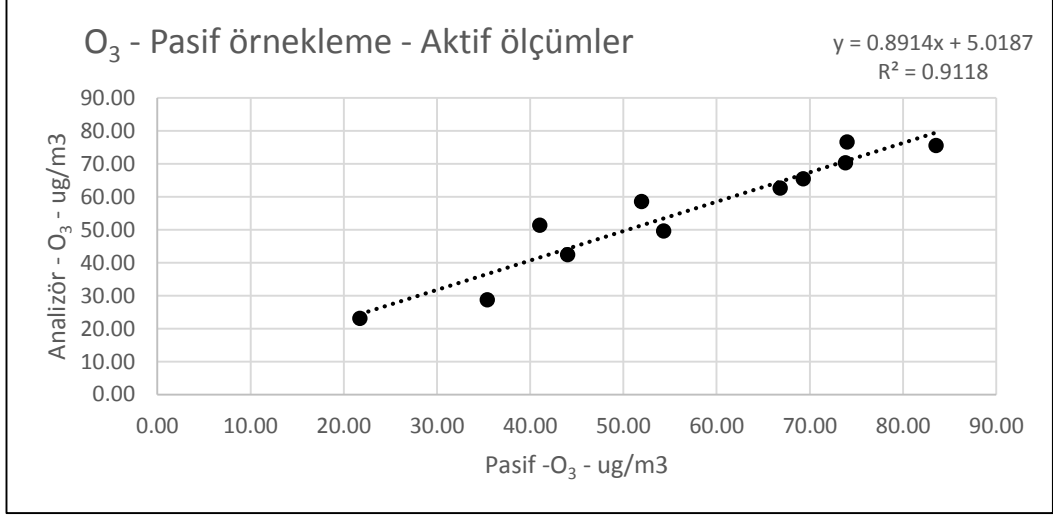
5.3.2. Kentsel istasyon aktif ölçüm sonuçlarının pasif örnekler ile karşılaştırılması

5.3.2.1. O₃

Kentsel istasyonda 14.01.2014 tarihinde O₃ ölçümlerin başlamasıyla birlikte 05.05.2014 tarihiyle de pasif örnekleme yapılmaya başlanmıştır. 14.01.2015 tarihinde analizörlerden son verilerin alınmasıyla birlikte karşılaştırmalar tamamlanmıştır. Eş zamanlı ölçümü yapılan pasif örnekleme ve aktif ölçüm sonuçları Şekil 5.49'da yer almaktadır. Şekil 5.49 incelendiğinde ölçümler arasında benzer eğilim olduğu görülmektedir. Statgraphics istatistiksel paket programında yapılan doğrusal regresyon sonucuna (p-değeri 0.0010; <0.05) göre %95 güven aralığında anlamlı bir fark yoktur. Şekil 5.50'de ise pasif örnekleme ve aktif ölçüm sonuçlarına ait korelasyon grafiği gösterilmiştir.



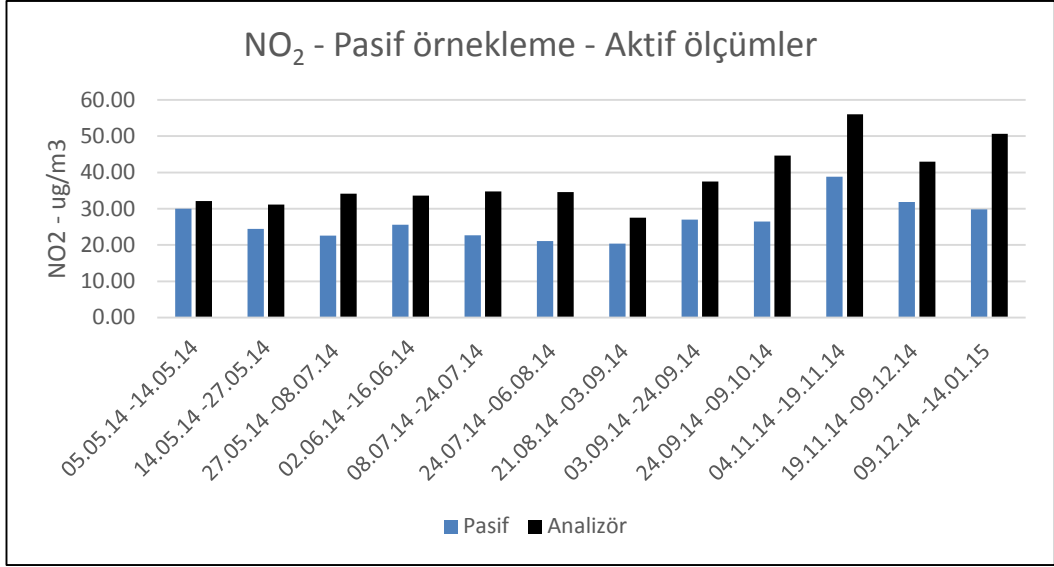
Şekil 5.49. Kırsal istasyon O₃ verilerinin karşılaştırılması



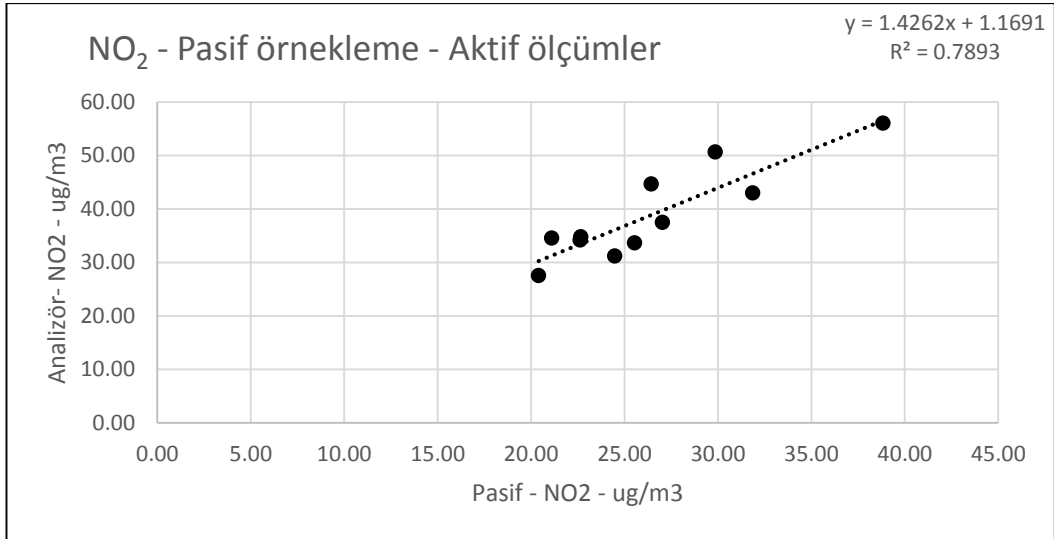
Şekil 5.50. Kırsal istasyon O₃ verilerinin korelasyonu

5.3.2.2. NO₂

Kentsel istasyonda 27.02.2013 tarihinde NO₂ ölçümlerinin başlamasıyla birlikte 05.05.2014 tarihiyle de pasif örnekleme yapılmaya başlanmıştır. 14.01.2015 tarihinde analizörlerden son verilerin alınmasıyla birlikte karşılaştırmalar tamamlanmıştır. Eş zamanlı ölçümü yapılan pasif örnekleme ve aktif ölçüm sonuçları Şekil 5.51’de yer almaktadır. Şekil 5.51 incelendiğinde ölçümler arasında birlikte hareket etme eğilimi olduğu görülmektedir. Statgraphics istatistiksel paket programında yapılan doğrusal regresyon sonucuna (p-değeri 0.0016; <0.05) göre %95 güven aralığında anlamlı bir fark yoktur. Şekil 5.52’de aykırı değer veri setinden çıkartıldığında 0.64 olan korelasyon değeri 0.7893’e yükselmektedir.



Şekil 5.51. Kırsal istasyon NO₂ verilerinin karşılaştırılması

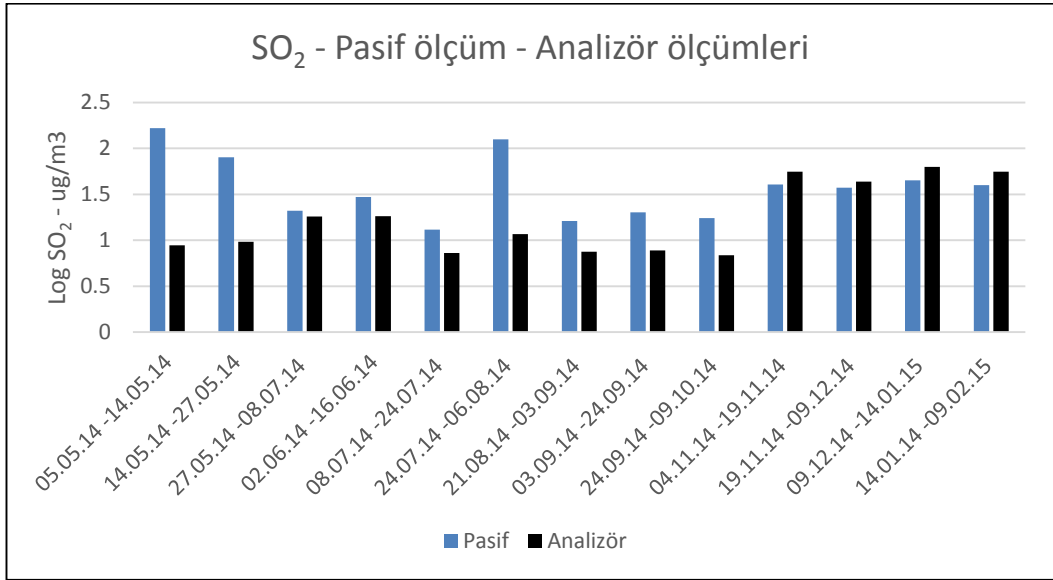


Şekil 5.52. Kırsal istasyon NO₂ verilerinin korelasyonu

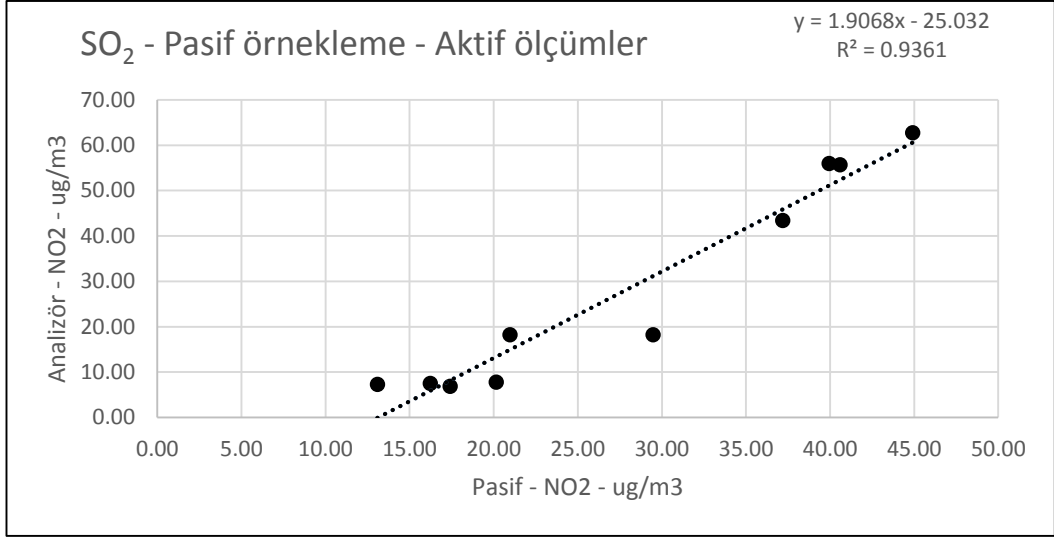
5.3.2.3. SO₂

Kentsel istasyonda 27.02.2013 tarihinde SO₂ ölçümlerin başlamasıyla birlikte 05.05.2014 tarihinde pasif örnekleme yapılmaya başlanmıştır. 09.02.2015 tarihinde analizörlerden son verilerin alınmasıyla birlikte karşılaştırmalar tamamlanmıştır. Eş zamanlı ölçümü yapılan pasif örnekleme ve

aktif ölçüm sonuçları (örneklemelerde pik değerler bulunduğundan y-ekseni log yapılmıştır) Şekil 5.53’de yer almaktadır. Veri seti içerisindeki aykırı değerler veri setinden çıkartıldığında 0.0191 olan korelasyon değeri 0.9361’e yükselmektedir. Veri seti içerisinde çıkarılmış aykırı değerler ile Statgraphics istatistik paket programında yapılan doğrusal regresyon sonucuna (p-değeri 0.0013; <0.05) göre %95 güven aralığında anlamlı bir fark yoktur. Aynı zamanda şehir merkezinde Kütahya Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü’nün işlettiği hava kalitesi ölçüm istasyonunda ölçülen SO₂ değerlerine de bakıldığında, aykırı değer olarak görülen periyotlar içerisinde pasif örnekleme sonuçları kadar yüksek derişimlere ulaşılmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.54’de ise aykırı değerler çıkarılmış pasif örnekleme ve aktif ölçüm sonuçlarına ait korelasyon grafiği gösterilmiştir.



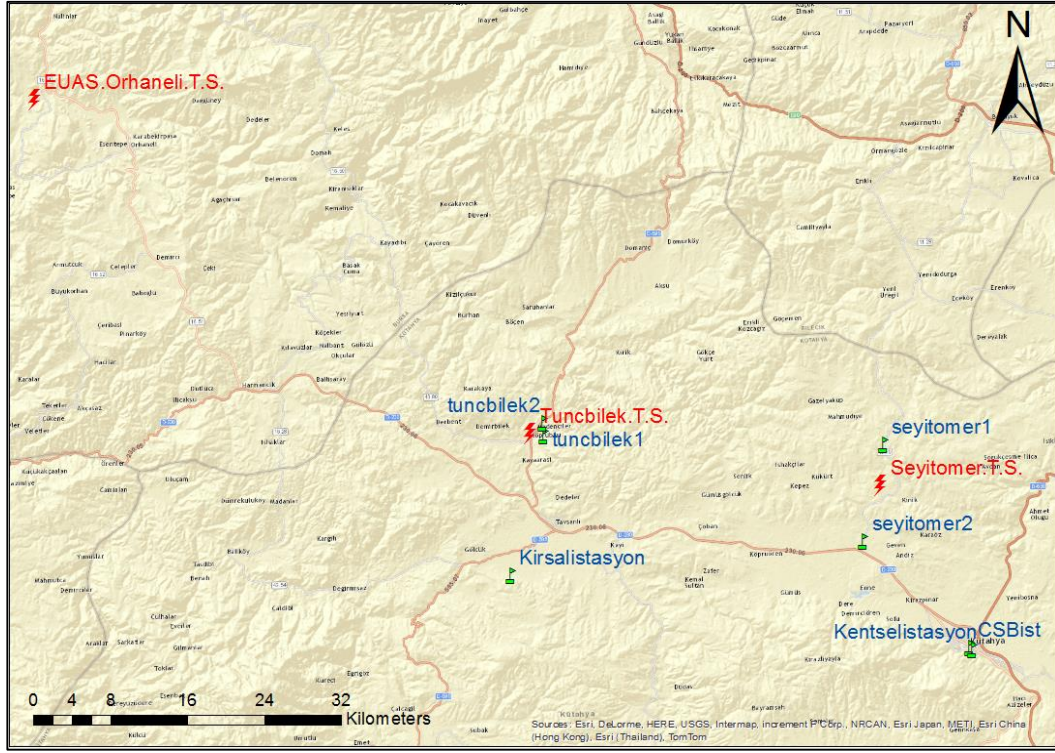
Şekil 5.53. Kırsal istasyon SO₂ verilerinin karşılaştırılması



Şekil 5.54. Kırsal istasyon SO₂ verilerinin karşılaştırılması

5.4. Hava Kalitesi İzleme İstasyonu Verilerinin Termik Santrale Ait İstasyonlardaki Veriler ile Karşılaştırılması

Çalışma alanında yer alan termik santraller ve onlara ait hava kalitesi izleme istasyonları, şehir merkezinde yer alan Kütahya Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü'nün işlettiği hava kalitesi izleme istasyonu ve proje kapsamında kurulan hava kalitesi izleme istasyonlarının konumları Şekil 5.55'de görülmektedir.



Şekil 5.55. Çalışma alanındaki termik santraller ve hava kalitesi izleme istasyonları

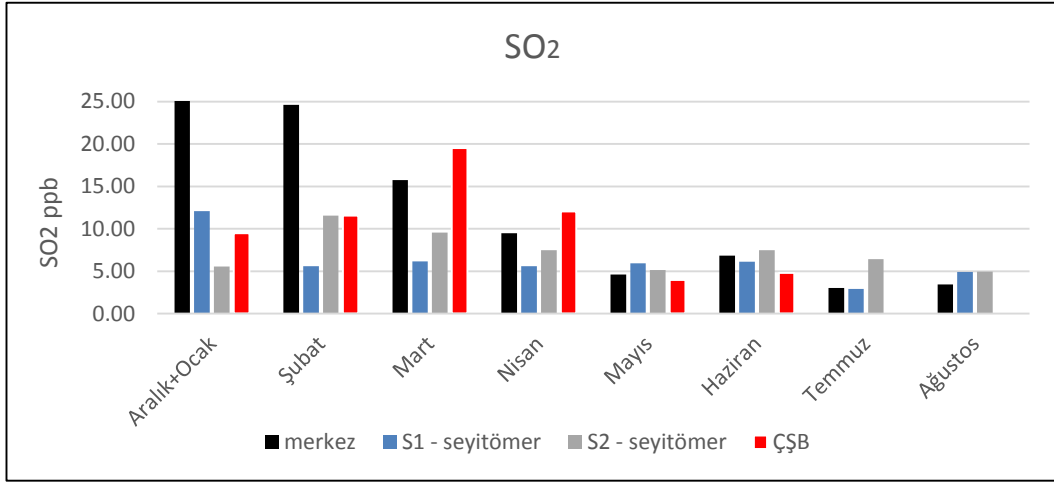
5.4.1. Kentsel istasyon ve Seyitömer Termik Santrali istasyonlarının karşılaştırılması

Bu başlık altında, proje kapsamında kurulan kentsel hava kalitesi izleme istasyonu ile ona en yakın mesafede yer alan Seyitömer Termik Santraline ait olan 2 adet hava kalitesi izleme istasyonuna ait verilerin karşılaştırılması yapılacaktır.

5.4.1.1. SO₂

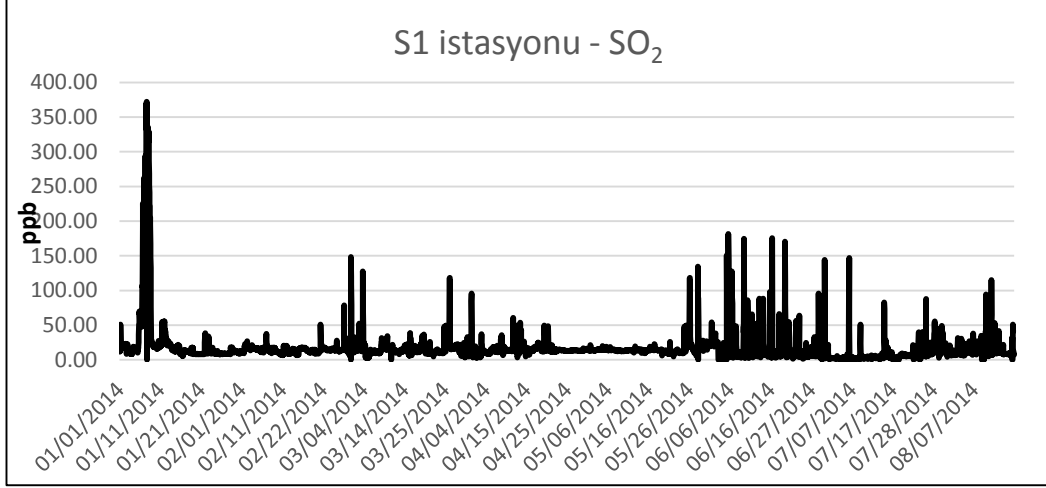
Seyitömer Termik Santraline ait olan, Seyitömer (Bursa Çimento) hava kalitesi izleme istasyonu (S1) ve Seyitömer (Jandarma) hava kalitesi izleme istasyonunda (S2) ölçülen veriler ile kentsel hava kalitesi izleme istasyonu verileri karşılaştırılmıştır. Topografik ve meteorolojik şartlar düşünüldüğü zaman Seyitömer Termik Santralinden gelecek olan kirleticiler şehre ulaşabilmektedir. Bu kapsamda Şekil 5.56'da hazırlanan aylık SO₂ seviyeleri karşılaştırmaları

incelendiğinde, kış dönemi içerisinde denk gelen dönemde kentsel istasyonda SO₂ seviyeleri termik santral istasyonlarındaki SO₂ seviyelerinden 2-3 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum termik santral hava kalitesi izleme istasyonlarının hakim rüzgar yönünün altında olmayan noktalarda bulunmasıyla açıklanabilir. Tüm istasyonların çevrelerinde evsel ısınma faktörü de dahil olduğu için bu istasyonlar sadece termik santrallerin etkisini temsil etmekte yeterli olmayabilir. Devam eden yaz dönemi ile SO₂ seviyeleri benzer seviyelere gelmektedir.

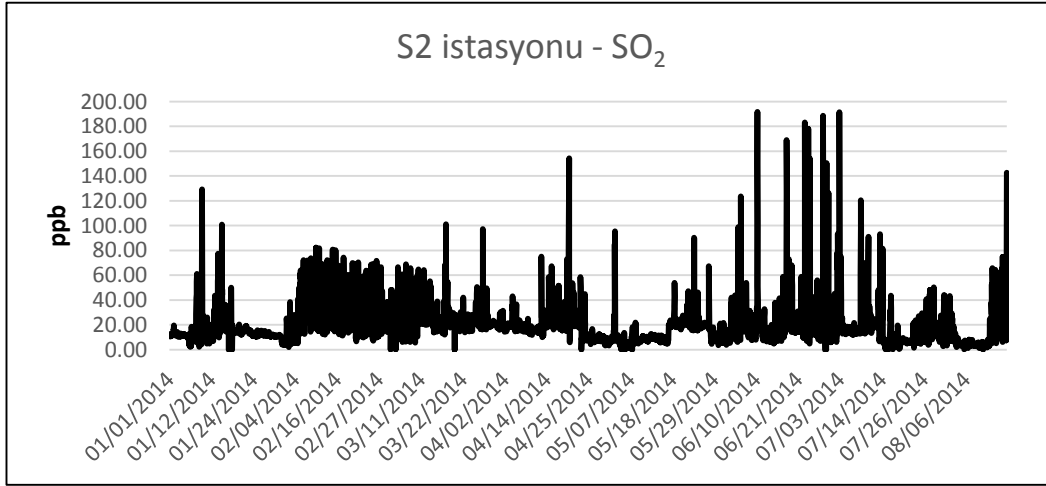


Şekil 5.56. Kentsel ve Seyitömer hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen SO₂ seviyelerinin aylık karşılaştırılması

Şekil 5.57 ve Şekil 5.58’de Seyitömer Termik santraline ait hava kalitesi izleme istasyonlarına ait saatlik SO₂ derişimleri görülmektedir.



Şekil 5.57. Seyitömer Bursa Çimento (S1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen SO₂ seviyelerinin saatlik gösterimi

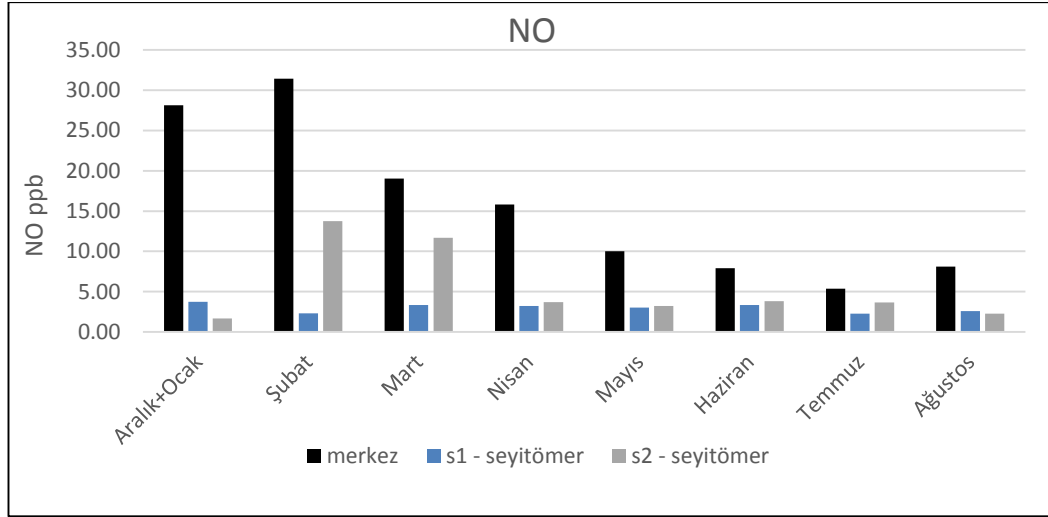


Şekil 5.58. Seyitömer Jandarma (S2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen SO₂ seviyelerinin saatlik gösterimi

5.4.1.2. NO

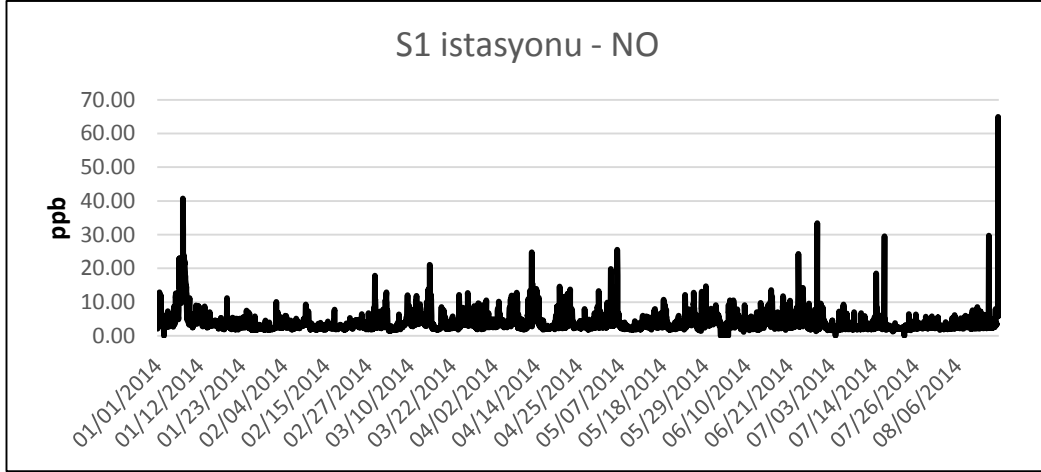
Seyitömer Termik Santraline ait olan, Seyitömer (Bursa Çimento) hava kalitesi izleme istasyonu (S1) ve Seyitömer (Jandarma) hava kalitesi izleme istasyonunda (S2) ölçülen değerler ile kentsel hava kalitesi izleme istasyonu verileri karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda Şekil 5.59'da hazırlanan aylık NO seviyeleri karşılaştırmaları incelendiğinde kış dönemine denk gelen dönemde, kentsel

istasyonda NO seviyeleri termik santral istasyonlarındaki NO seviyelerinden Ocak ayında 5 kat yüksektir. S2 istasyonunda devam eden aylarda kentsel istasyon değerlerine yakın bir seviye olsa da yine de önemli farklar mevcuttur. Bu durum termik santral hava kalitesi izleme istasyonlarının hakim rüzgar yönünün altında olmayan bir noktaya koyulmasıyla açıklanabilir. Devam eden yaz dönemi ile NO seviyeleri benzer seviyelere gelmektedir. Ayrıca meteorolojik faktörler yardımıyla derişimlerin açıklanması başlığında, kentsel istasyonda meteorolojik verilerin temin edilmesi ile termik santrallerden kaynaklanabilecek episodik kirletici seviyeleri açıklanmaya çalışılacaktır.

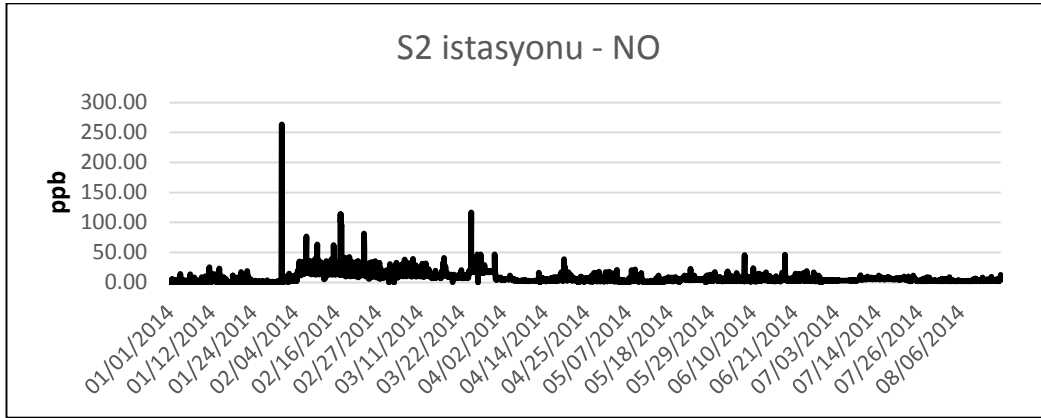


Şekil 5.59. Kentsel ve Seyitömer hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO seviyelerinin aylık karşılaştırılması

Şekil 5.60 ve Şekil 5.61’de Seyitömer Termik Santraline ait hava kalitesi izleme istasyonlarına ait saatlik NO derişimleri görülmektedir.



Şekil 5.60. Seyitömer Bursa Çimento (S1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO seviyelerinin saatlik gösterimi

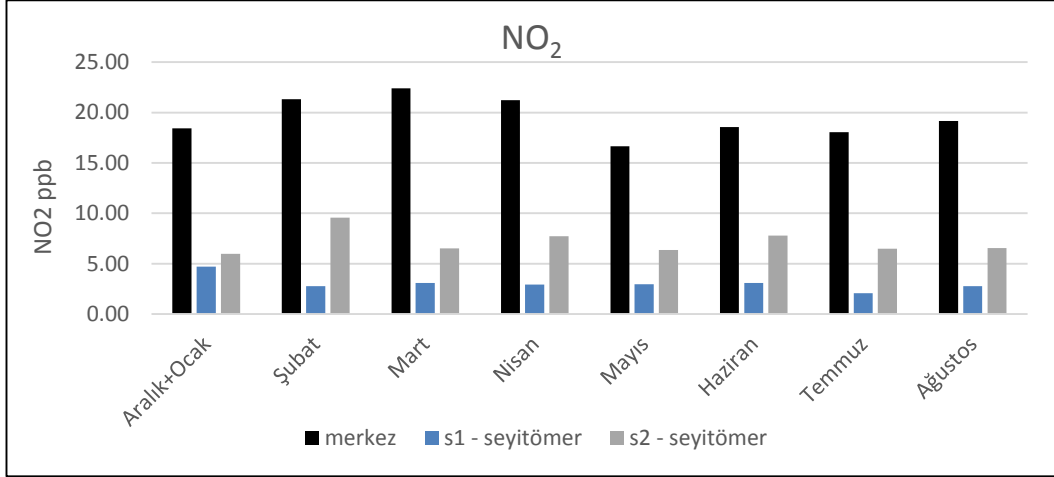


Şekil 5.61. Seyitömer Jandarma (S2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO seviyelerinin saatlik gösterimi

5.4.1.3. NO₂

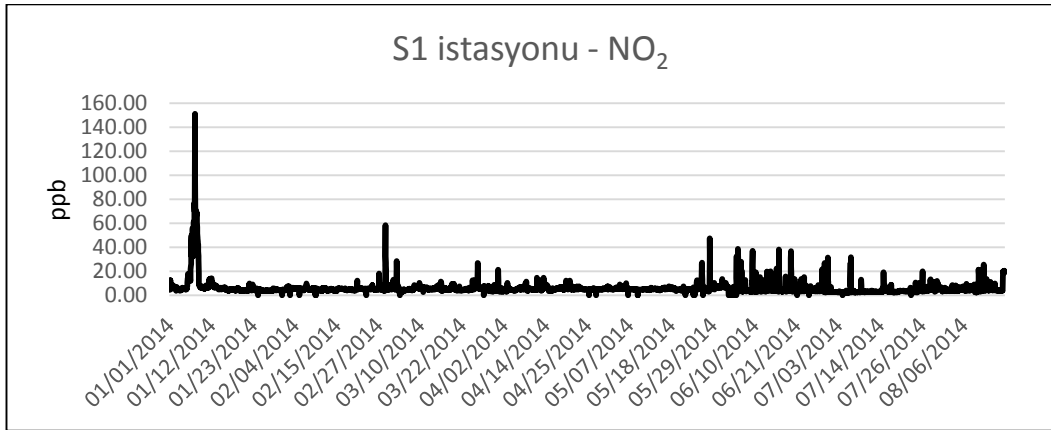
Seyitömer Termik Santraline ait olan, Seyitömer (Bursa Çimento) hava kalitesi izleme istasyonu (S1) ve Seyitömer (Jandarma) hava kalitesi izleme istasyonunda (S2) ölçülen veriler ile kentsel hava kalitesi izleme istasyonu verileri karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda Şekil 5.62’de aylık NO seviyeleri karşılaştırmaları incelendiğinde ölçüm dönemi içerisinde kentsel istasyonda NO₂ seviyelerinin termik santral istasyonlarındaki NO₂ seviyelerinden; S2 istasyonuna göre yaklaşık

olarak 2 kat, S1 istasyonuna göre ise 3-4 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Meteorolojik faktörler yardımıyla derişimlerin açıklanması başlığında açıklanan kısımda, kentsel istasyonda meteorolojik verilerin temin edilmesi ile termik santrallerden kaynaklanabilecek episodik kirletici seviyeleri açıklanmaya çalışılmıştır.

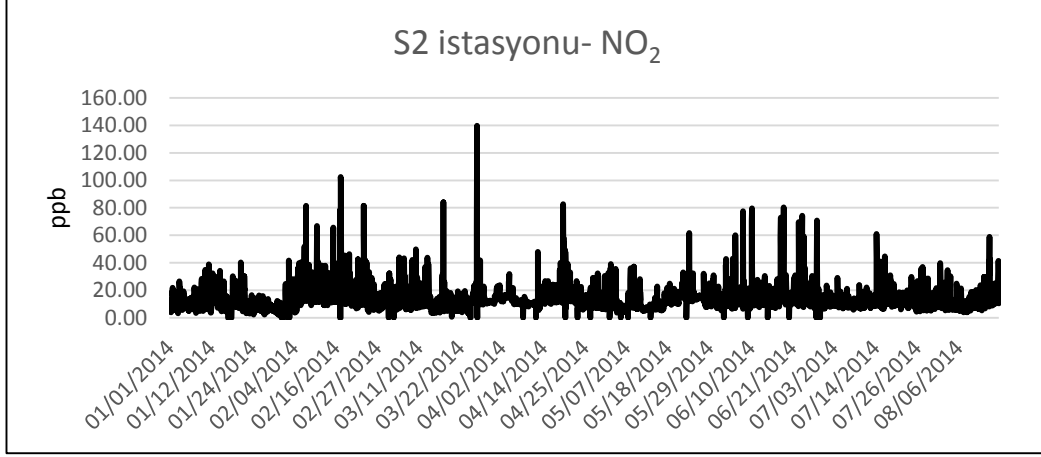


Şekil 5.62. Kentsel ve Seyitömer hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO₂ seviyelerinin aylık karşılaştırılması

Şekil 5.63 ve Şekil 5.64’de Seyitömer Termik Santraline ait hava kalitesi izleme istasyonlarına ait saatlik NO₂ derişimleri görülebilmektedir.



Şekil 5.63. Seyitömer Bursa Çimento (S1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO₂ seviyelerinin saatlik gösterimi



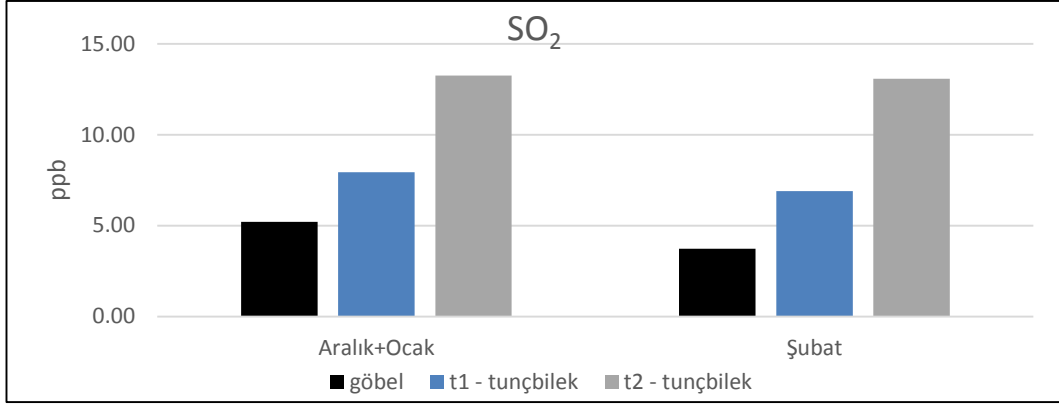
Şekil 5.64. Seyitömer jandarma (S2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO₂ seviyelerinin saatlik gösterimi

5.4.2. Kırsal istasyon ve Tunçbilek Termik Santrali istasyonlarının karşılaştırılması

Bu başlık altında Proje’de kurulan kırsal hava kalitesi izleme istasyonu ile ona yakın mesafede yer alan Tunçbilek Termik Santraline ait olan 2 adet hava kalitesi izleme istasyonuna ait verilerin karşılaştırılması yapılacaktır.

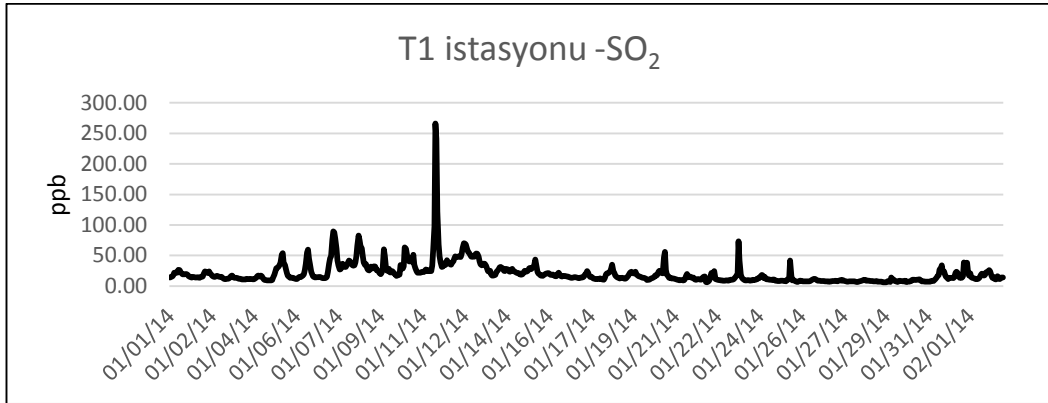
5.4.2.1. SO₂

Tunçbilek Termik Santraline ait olan, Tunçbilek (1 No’lu) hava kalitesi izleme istasyonu (T1) ve Tunçbilek (2 No’lu) hava kalitesi izleme istasyonunda (T2) ölçülen veriler ile kırsal hava kalitesi izleme istasyonu verileri karşılaştırılmıştır. Ancak termik santrallerden alından veriler sadece 01.01.2014 tarihleri ile 25.02.2014 tarihlerini kapsamaktadır. Bu kapsamda Şekil 5.65’de hazırlanan aylık SO₂ seviyeleri karşılaştırmaları incelendiğinde Aralık+Ocak ve Şubat aylarına denk gelen dönemde, kırsal istasyonda SO₂ seviyeleri termik santral istasyonlarındaki SO₂ seviyelerinden 2 kat daha düşüktür.

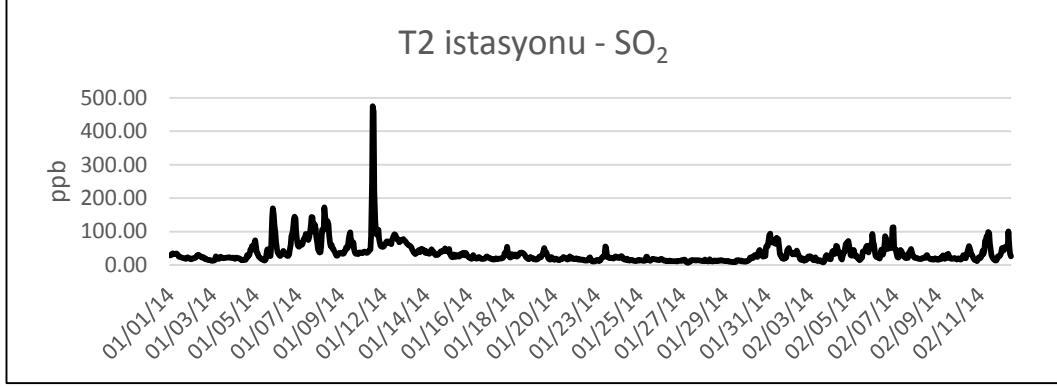


Şekil 5.65. Kırsal ve Tunçbilek hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen SO₂ seviyelerinin aylık karşılaştırılması

Şekil 5.66 ve Şekil 5.67’de Tunçbilek Termik Santraline ait hava kalitesi izleme istasyonlarına ait saatlik SO₂ derişimleri görülebilmektedir.

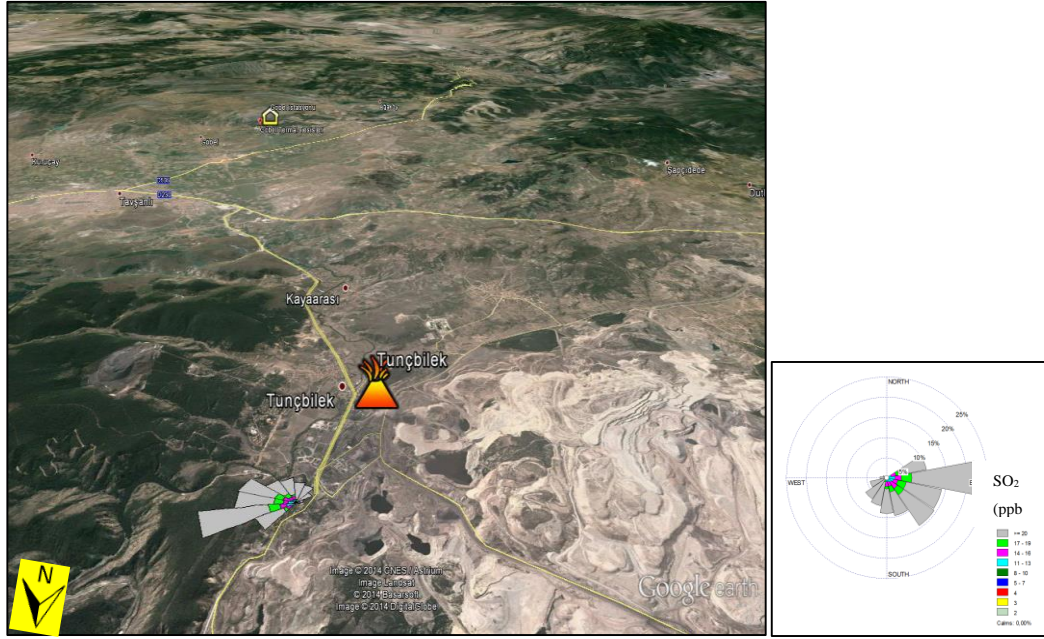


Şekil 5.66. Tunçbilek 1 No’lu (T1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen SO₂ seviyelerinin saatlik gösterimi



Şekil 5.67. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen SO₂ seviyelerinin saatlik gösterimi

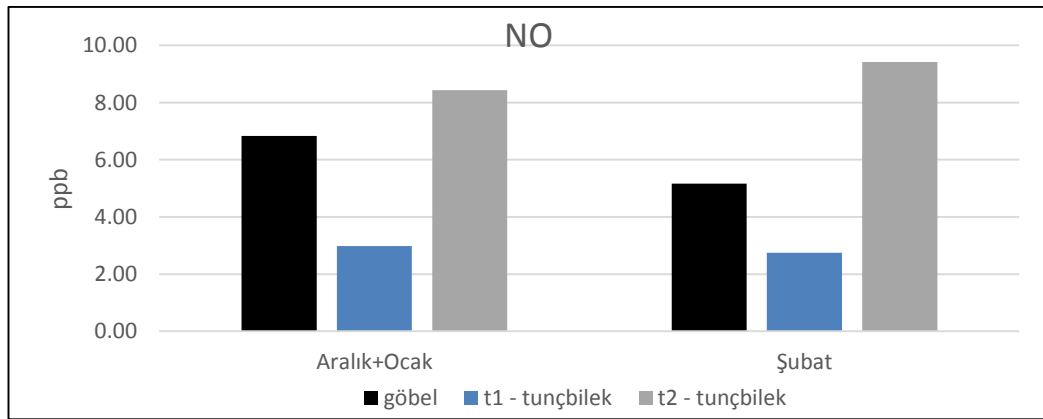
Tunçbilek Termik Santrali 2 No'lu (T2) istasyonunda aynı zamanda rüzgar hızı ve rüzgar yönü gibi parametreler de kaydedilmektedir. Kaydedilen bu parametreler yardımı ile kırsal hava kalitesinde yapılan işlemin aynısı T2 istasyonuna da uygulanmıştır. Şekil 5.68'de görüldüğü gibi ölçüm yapılan dönemdeki hakim rüzgar yönü doğudur ve onu sırasıyla güney-doğu ve güney-güney-doğu izlemektedir. Bu rüzgar yönlerinde esen rüzgarlar Tunçbilek'ten kaynaklanacak olan kirliliği istasyona taşımamakta ve düşük değerlerin ölçülmesine neden olmaktadır. Kuzey-doğu-doğu yönünden esen rüzgarlar Tunçbilek Termik Santralinden kaynaklanan kirleticileri istasyona taşıırken bunun payı tüm rüzgar yönlerinin arasında çok düşük kalmaktadır.



Şekil 5.68. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda 01.01.2014-25.02.2014 tarihleri için SO₂ kirlilik gülü ve harita üzerinde gösterimi

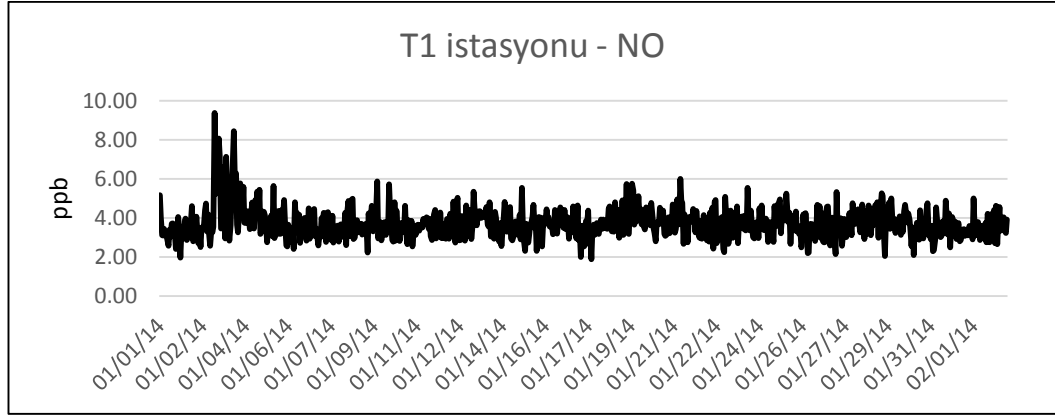
5.4.2.2. NO

Şekil 5.69'da hazırlanan aylık NO seviyeleri karşılaştırmaları incelendiğinde Aralık+Ocak ve Şubat aylarına denk gelen dönemde, tüm istasyonlardaki NO seviyeleri birbirine yakındır.

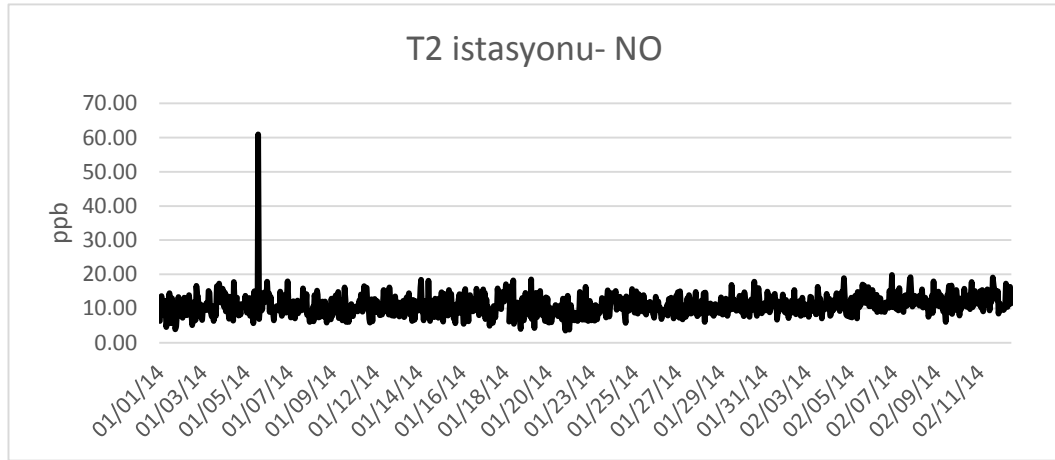


Şekil 5.69. Kırsal ve Tunçbilek hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO seviyelerinin aylık karşılaştırılması

Şekil 5.70 ve Şekil 5.71’de Tunçbilek Termik Santraline ait hava kalitesi izleme istasyonlarına ait saatlik NO derişimleri görülmektedir. NO derişimleri, T1 istasyonunda ortalama 4 ppb, T2 istasyonun da ise 12 ppb civarında seyretmektedir.



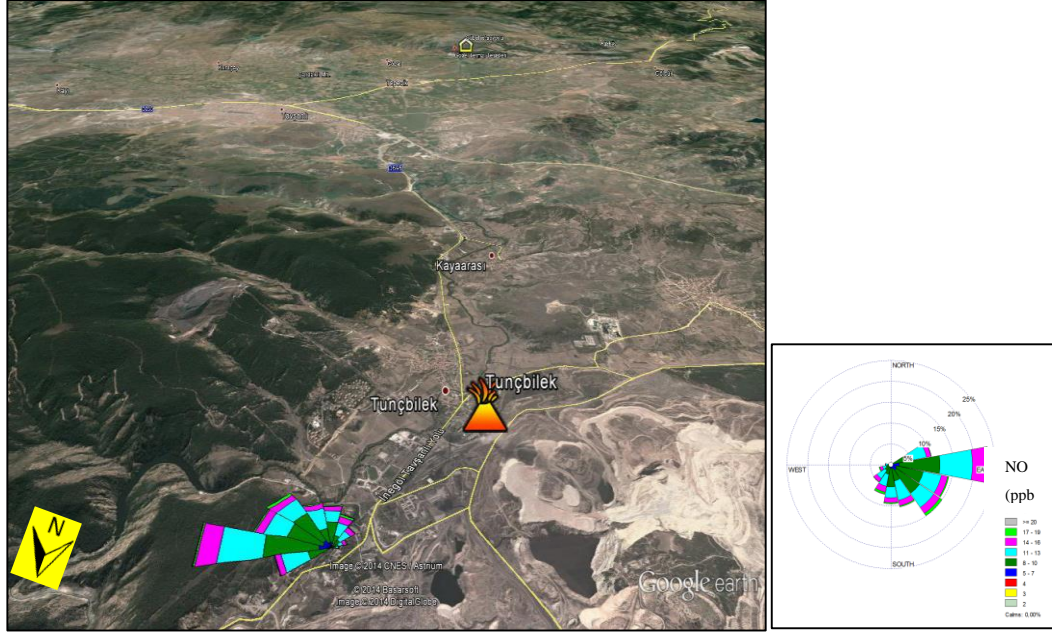
Şekil 5.70. Tunçbilek 1 No’lu (T1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO seviyelerinin saatlik gösterimi



Şekil 5.71. Tunçbilek 2 No’lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO seviyelerinin saatlik gösterimi

Tunçbilek Termik Santrali 2 No’lu (T2) istasyonunda aynı zamanda rüzgar hızı ve rüzgar yönü gibi parametreler de kaydedilmektedir. Kaydedilen bu parametreler yardımı ile kırsal hava kalitesinde yapılan işlemin aynısı T2 istasyonuna da uygulanmıştır. Şekil 5.72’de görüldüğü gibi ölçüm yapılan dönemdeki hakim rüzgar yönü doğudur ve onu sırasıyla güney-doğu ve güney-

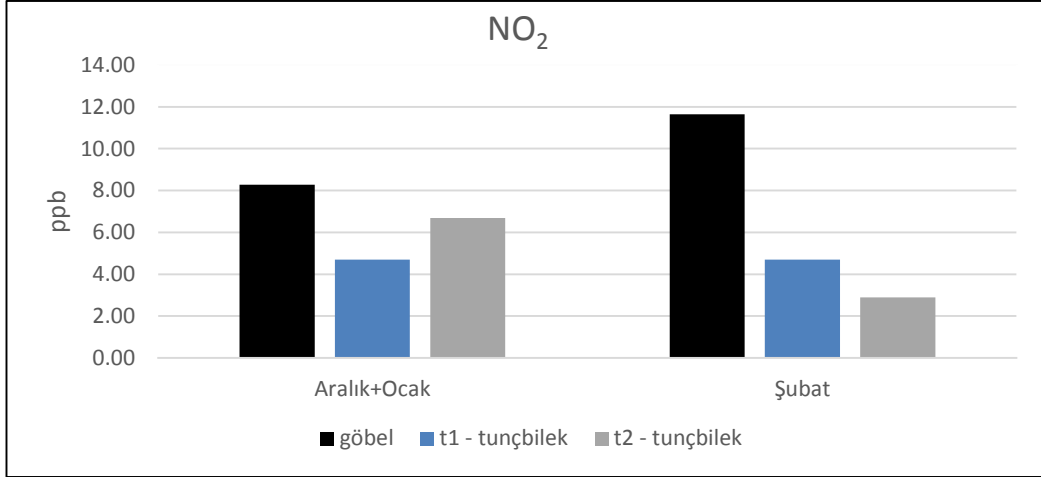
güney-doğu izlemektedir. Bu yönlerden esen rüzgarlar Tunçbilek'ten kaynaklanacak olan kirliliği istasyona taşımamakta ve düşük değerler ölçülmektedir. Kuzey-doğu-doğu yönünden esen rüzgarlar Tunçbilek Termik Santralinden kaynaklanan kirleticileri istasyona taşımakta ancak bunların payı tüm rüzgar yönlerinin arasında çok düşük kalmaktadır.



Şekil 5.72. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda 01.01.2014-13.02.2014 tarihleri için NO kirlilik gülü ve harita üzerindeki gösterimi

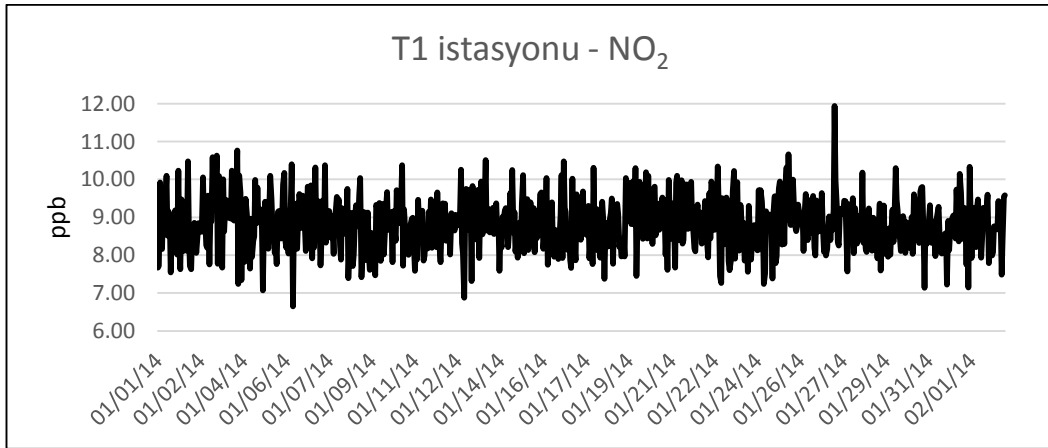
5.4.2.3. NO₂

Şekil 5.73'de hazırlanan aylık NO₂ seviyeleri karşılaştırmaları incelendiğinde Aralık+Ocak ve Şubat aylarına denk gelen dönemde, tüm istasyonlardaki NO₂ seviyeleri birbirine yakındır. Kırsal istasyonda Mart ayı ile ölçülmeye başlayan yüksek değerlere karşılık termik santralin istasyonlarından veri gelmediği için bir karşılaştırma yapılamamaktadır.

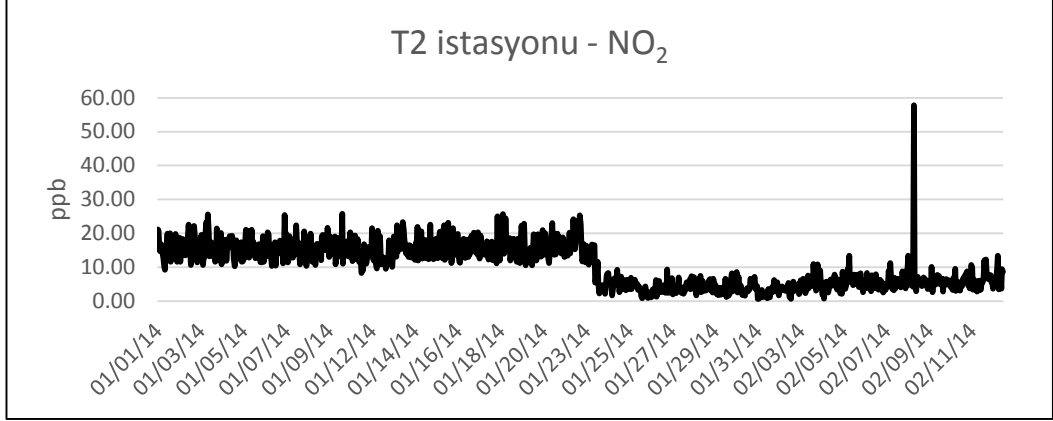


Şekil 5.73. Kırsal ve Tunçbilek hava kalitesi izleme istasyonlarında ölçülen NO₂ seviyelerinin aylık karşılaştırılması

Şekil 5.74 ve Şekil 5.75’de Tunçbilek Termik Santraline ait hava kalitesi izleme istasyonlarına ait saatlik NO₂ derişimleri görülebilmektedir. NO₂ derişimleri, T1 istasyonun da ortalama 9 ppb, T2 istasyonun da ise 10 ppv civarında seyretmektedir.

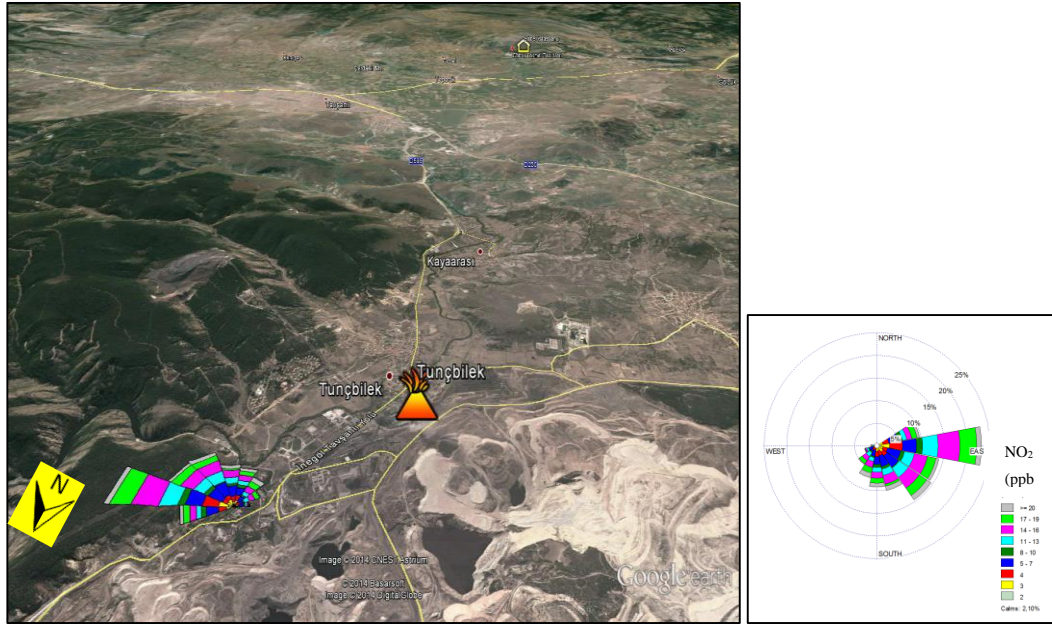


Şekil 5.74. Tunçbilek 1 No’lu (T1) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO₂ seviyelerinin saatlik gösterimi



Şekil 5.75. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda ölçülen NO₂ seviyelerinin saatlik gösterimi

Tunçbilek Termik Santrali 2 No'lu (T2) istasyonunda aynı zamanda rüzgar hızı ve rüzgar yönü gibi parametrelerde kaydedildiği bilinmektedir. Kaydedilen bu parametreler yardımı ile kırsal hava kalitesinde yapılan işlemin aynısı T2 istasyonuna da uygulanmıştır. Şekil 5.76'da görüldüğü gibi ölçüm yapılan dönemdeki hakim rüzgar yönü doğudur ve onu sırasıyla güney-doğu ve güney-güney-doğu izlemektedir. Bu yönlerden esen rüzgarlar santralden kaynaklı kirliliği ölçüm istasyonlarına taşımamaktadır, bu nedenle düşük değerler gözlenmektedir.



Şekil 5.76. Tunçbilek 2 No'lu (T2) hava kalitesi izleme istasyonunda 01.01.2014-13.02.2014 tarihleri için NO₂ kirlilik gülü ve harita üzerinde gösterimi

5.5. Derişimlerin Meteorolojik Parametrelere Göre Değerlendirilmesi

Meteoroloji, kirleticilerin havadaki derişim seviyelerini önemli ölçüde etkilemektedir. Rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü verileri, bölgeye kirleticilerin taşınımı hakkında güvenilir bilgi sağlamakta ve izleme istasyonlarındaki ölçümler ve kirletici kaynaklar arasındaki ilişkileri değerlendirmek için sıkça kullanılmaktadır. Sıcaklık, yakıt tüketimini ve atmosferdeki kimyasal reaksiyonları; radyasyon hava kirleticileri arasındaki fotokimyasal reaksiyonları etkilemektedir. Yağış, kirleticilerin atmosferden giderilmesini sağlamaktadır. Meteorolojik faktörler ayrıca kirleticilerin derişimlerini ve atmosferde kalış süresini etkilemektedir.

Hava kirliliği ölçümlerinden ve meteorolojik istasyonlardan elde edilen gözlem setlerinden, değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkinin hesaplanması, regresyon analizi gibi bazı istatistiksel tekniklerin kullanılması mümkündür. Atmosferde hava kirleticilerin meteorolojiye ve diğer kirleticilere bağımlılığını araştıran farklı çalışmalar bulunmaktadır (Witz ve Moore, 1981; Keser, 2002; Kantarcı ve Şen, 2008; Ocak ve Turalıoğlu, 2008; Şen ve Başaran, 2008; Turalıoğlu ve ark., 2008).

Kütahya şehir merkezi ve çevresinde yer alan kentsel ve kırsal hava kalitesi izleme istasyonlarında, Aralık 2013 – Ocak 2015 tarihleri arasında, otomatik analizörler yardımıyla ölçümü yapılan kükürt dioksit, NO_x ve O₃ kirletici derişimleri kullanılmıştır. Bu veriler, aynı günlerde eş zamanlı olarak ölçümü yapılan (N-eş zamanlı ölçümü yapılan gün sayısı) sıcaklık, rüzgar hızı (RH), nem, toplam yağış (TY) ve güneşlenme radyasyonu (GR) meteorolojik veriler ile grafiksel ve istatistiksel olarak karşılaştırılmış ve aralarındaki korelasyonlar hesaplanmıştır.

Çizelge 5.12’de istasyonlarda ölçülen kirletici derişimleri meteorolojik faktörlerin ortalamaları ve standart sapmaları gösterilmektedir.

Çizelge 5.12. Kirletici derişimleri meteorolojik faktörlerin ortalamaları ve standart sapmaları

	Kentsel			Kırsal		
	Ortalama	Std. Sapma	N	Ortalama	Std. Sapma	N
NO ppb	14.74	12.62	179	43.23	72.31	195
NO ₂ ppb	19.66	5.56	179	12.75	5.29	195
O ₃ ppb	27.81	9.04	179	28.65	16.86	195
SO ₂ ppb	6.89	7.13	179	4.11	4.31	195
RH (m/s)	1.53	0.46	179	1.63	0.46	195
Sıcaklık (C)	15.47	6.58	179	13.60	8.22	195
Güneşlenme Radyasyonu (W/m ²)	14732.97	6550.81	179	13973.47	6987.45	195
TY (mm)	1.64	4.42	179	1.10	3.32	195
Nem (%)	67.27	12.28	179	64.00	12.76	195

Kırsal ve kentsel istasyon için tüm kirleticiler ayrı ayrı meteorolojik parametrelerle ilişkilendirilmiştir. Modellerin uygunluğu determinasyon katsayısına (r) göre belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.13’de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Kirleticiler ve meteorolojik parametrelerden elde edilen korelasyon katsayısı değerleri

Kentsel İstasyon							
Kirleticiler	Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Güneşlenme Radyasyonu (W/m ²)	Toplam Yağış (mm)	Nem (%)		
NO	-0.3497	-0.2320	-0.0521	-0.0174	0.0638		
NO ₂	-0.3730	0.0000	0.0324	-0.0221	0.0017		
O ₃	0.2820	0.3564	0.1511	-0.0037	-0.2946		
SO ₂	-0.0396	-0.3625	-0.1815	-0.0041	0.0144		
Kırsal İstasyon							
Kirleticiler	Rüzgar Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Güneşlenme Radyasyonu (W/m ²)	Toplam Yağış (mm)	Nem (%)		
NO	-0.0045	0.0004	0.0026	0.0166	0.0358		
NO ₂	-0.0237	0.0344	0.0733	0.0437	0.0889		
O ₃	0.0289	0.1450	0.1513	-0.0232	0.0289		
SO ₂	-0.0302	-0.1470	0.1053	0.0660	0.0110		

Çizelge 5.13 incelendiğinde kirleticiler ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki görülmektedir. Güneşlenme radyasyonu, toplam yağış ve nem ile

kirleticiler arasında çok düşük korelasyonlar gözlemlenmiştir. Güneşlenme radyasyonu ile O₃ ve SO₂ kirleticileri arasında düşük sayılabilecek bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca nem ile O₃ arasında da ters bir ilişki olduğu görülmektedir. Bir sonraki adımda incelenen çoklu regresyon denklemlerinde, doğrusal regresyon analizlerinde korelasyonu düşük çıkan güneşlenme radyasyonu, toplam yağış ve nem verilerinin kullanılmamasına karar verilmiştir. Çoklu regresyon analizlerinde güneşlenme radyasyonu verisinin ozon ve SO₂'de, nem verisinin de ozonda kullanılması planlanmıştır.

Her iki istasyonda ölçülen kirleticiler ile sıcaklık arasında ilişki incelendiğinde, ozon oluşumunda sıcaklığın pozitif bir etkisi bulunduğundan, ozon hariç diğer kirleticilerde negatif bir ilişki bulunmaktadır. Sıcaklık arttıkça ozon seviyelerinde artışlar beklenmektedir. Diğer bir bakış açısıyla, sıcaklığın düşüşüyle birlikte evsel ısınmada kömür ve doğalgaz kullanımını artar ve bu durum da SO₂ ve NO_x derişimlerinde bir artışa neden olur. Artan bu emisyonlar, bu günlerde gözlenen kötü meteorolojik koşulların (düşük rüzgar hızı ve yağış) etkisiyle de dağılamamış veya yıkanarak uzaklaşmamıştır. Rüzgar hızınının, esme yönüne bağlı olarak kirletici seviyelerini azaltacağı bilinmektedir (Ocak ve Turalıoğlu, 2008). Yapılan bu çalışmada da rüzgar hızı arttıkça, kirletici derişimlerinde dispersiyonla seyrelmeden dolayı (O₃ hariç) bir azalma görülmektedir. Toplam yağışın kirletici konsantrasyonları ile arasındaki ilişki ise zayıf olarak bulunmuştur.

5.5.1. Çoklu regresyon analizleri ile kirletici derişimlerinin ve meteorolojik parametrelerin değerlendirilmesi

İstasyonlarda ölçülen günlük kirletici derişimleri ve meteorolojik parametreler kullanılarak çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve çıkarılan modeller Çizelge 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Kırsal ve kentsel istasyonda ölçülen kirletici meteorolojik parametrelere ait çeşitli çoklu regresyon denklemleri

Kentsel İstasyon	Çoklu Regresyon Denklemi	R²
O₃	24.9553 + 0.379252*[Bir önceki günün O ₃ değeri] + 0.513843*[COSRY] + 0.0000293106*[GR] - 0.156052*[Nem] - 0.149261*[NO] - 0.251811*[NO ₂] + 4.1393*[RH] + 0.196694*[Sıcaklık]	80.93
O₃	39.748 + 0.343138*[COSRY] + 0.0000734384*[GR] - 0.207335*[Nem] - 0.254081*[NO] - 0.327815*[NO ₂] + 3.79123*[RH] + 0.332098*[Sıcaklık]	73.35
O₃	17.3895 + 0.0000846879*[GR] - 0.18971*[Nem] + 9.14827*[RH] + 0.511936*[Sıcaklık]	62.82
O₃	0.773844 + 9.48853*[RH] + 0.800222*[Sıcaklık]	58.35
O₃	17.5054 - 0.196076*[Nem] + 9.4788*[RH] + 0.580858*[Sıcaklık]	63.71
NO	20.8213 - 1.59686*[COSRY] + 0.628983*[NO ₂] - 0.486787*[O ₃] - 1.40599*[RH] - 0.233689*[Sıcaklık]	68.72
NO	38.278 - 0.98963*[COSRY] - 0.705771*[O ₃] - 3.41302*[RH] + 0.0127298*[Sıcaklık]	62.45
NO₂	22.9439 + 0.273321*[COSRY] - 0.0563128*[Nem] + 0.288794*[NO] - 0.126092*[O ₃] - 2.82115*[RH] + 0.27037*[Sıcaklık]	54.69
NO₂	17.241 + 0.0837012*[COSRY] + 0.330378*[NO] - 0.0662696*[O ₃] - 2.91374*[RH] + 0.281282*[Sıcaklık] - 0.049577*[SO ₂]	54.06
SO₂	16.2014 - 1.40807*[COSRY] - 0.0000872107*[GR] - 0.526858*[Sıcaklık]	38.60
SO₂	44.1642 - 0.787999*[COSRY] - 0.000336113*[GR] - 0.275248*[Nem] - 2.49408*[RH] - 0.658107*[Sıcaklık]	54.81
SO₂	21.8124 + 0.529959*[Bir önceki günün SO ₂ değeri] - 0.794554*[COSRY] - 0.000108753*[GR] - 0.11632*[Nem] - 2.76327*[RH] - 0.323958*[Sıcaklık]	69.19
Kırsal İstasyon	Çoklu Regresyon Denklemi	
O₃	-6.50561 + 0.874194*[Bir önceki günün O ₃ değeri] - 0.481805*[COSRY] + 0.0919889*[Nem] + 1.36174*[RH] + 0.186685*[Sıcaklık]	72.52
O₃	3.20079 + 0.854225*[Bir önceki günün O ₃ değeri] - 0.392309*[COSRY] + 0.0392837*[Nem] - 0.296645*[NO ₂] + 0.838841*[RH] + 0.154365*[Sıcaklık] - 0.144971*[SO ₂]	73.58
SO₂	10.4826 + 0.390137*[Bir önceki günün SO ₂ değeri] - 0.275079*[COSRY] - 0.0653413*[Nem] + 0.0144319*[O ₃] - 1.1313*[RH] - 0.179926*[Sıcaklık]	46.18
SO₂	18.4457 - 0.22918*[COSRY] - 0.129651*[Nem] - 1.12139*[RH] - 0.301047*[Sıcaklık]	26.08

Analiz sonuçlarına göre ozon derişimini en iyi açıklayan parametreler; rüzgar hızı, sıcaklık ve nem gibi meteorolojik parametrelerin yanında NO_x,

güneşlenme radyasyonu ve bir önceki günün O₃ değeri olarak sıralanmaktadır. Ocak ve Turalıoğlu (2008), Spellman (1999) ve Prytubak ve ark. (2000) yaptıkları çalışmalar da bir önceki günün ozon değerini de hesaplamaya katmışlardır. Kırsal istasyonda ise Mart-Nisan-Mayıs aylarında artan NO derişimleri, çoklu regresyon denklemlerinde outlier noktalara sebep olmaktadır. Artan NO_x derişimlerinin de ozon miktarını azalttığı buradan görülmektedir. NO kirleticisini en iyi açıklayan parametreler; rüzgar hızı, sıcaklık ve NO₂, O₃ olarak sıralanmaktadır.

Turalıoğlu ve ark. (2005) SO₂ ve PM konsantrasyonlarını bir önceki günün kirletici derişimleri ve meteorolojik parametreler (rüzgar hızı, sıcaklık, nispi nem, basınç ve yağış) içeren çoklu regresyon denklemi ile tahmin etmiştir. Yapılan bu çalışmada da bir önceki günün SO₂ değerinin de çoklu regresyon analizlerine eklenmesinden sonra 0.5418 gibi orta derecedeki korelasyona katsayısı değeri 0.6919' kadar yükselmiştir.

5.5.2. Rüzgar sektör analizleri ile derişimlerin açıklanması

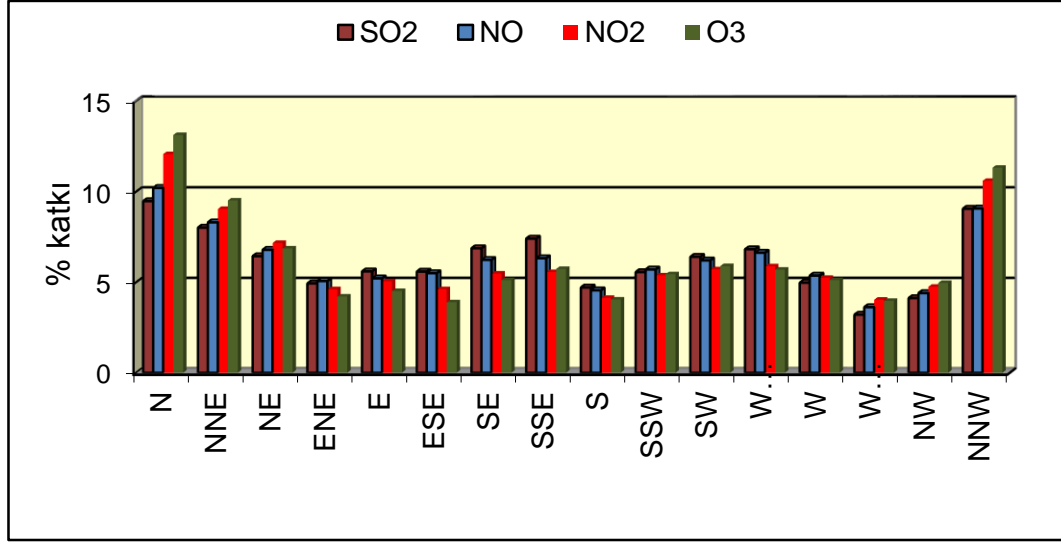
Alıcı ortamdaki derişimler sadece rüzgar yönüyle değil her sektörden esen rüzgarın frekansıyla da ilişkilidir (Arı, 2008). Çalışmada gerçekleştirilen rüzgar sektör analizi kapsamında, her rüzgar sektörünün örnekleme alanındaki derişimlere olan katkısını inceleyebilmek için Vossler ve ark. (1989) tarafından kullanılan eşitlik (5.1) kullanılmıştır.

$$\frac{C_{kj}}{C_k} = \frac{1}{N} \sum \frac{C_{ik} * F_j}{C_k} \quad (5.1)$$

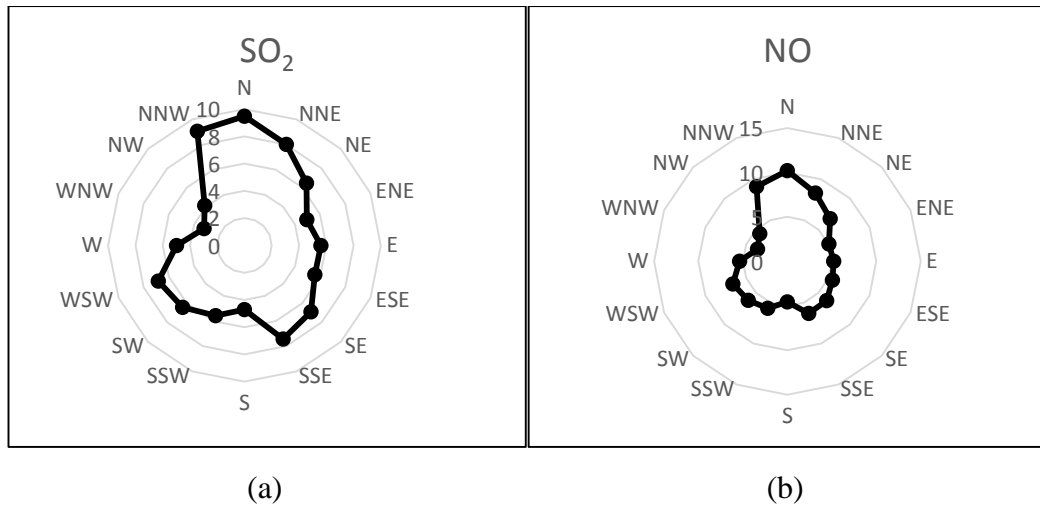
Eşitlikte; F_j, rüzgar frekansı, C_{kj}, j sektöründen esen rüzgarların k bileşeni ortalama derişimi, C_k, k bileşenin ortalama derişimi ve C_{ik}, k bileşenin örnekleme periyodu için olan derişim değeridir. Rüzgar sektör analizleri, rüzgar hızı ve rüzgar yönü parametrelerinin istasyonlarda ölçülen inorganik kirletici derişimlerine olan etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.77 - Şekil 5.80'de rüzgar sektör analizleri görülmektedir.

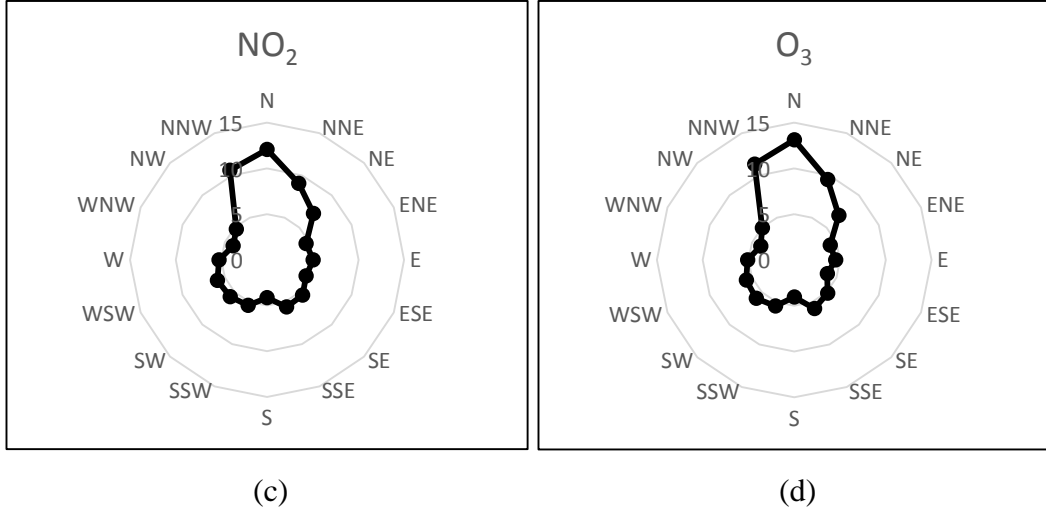
Şekil 5.77 incelendiğinde, kentsel istasyonda ölçülen inorganik kirletici derişimlerine 14.01.2014-03.11.2014 tarihleri arasında, büyük oranda kuzey yönünden esen rüzgarların (N, NNE, NE ve NNW) katkısı olduğu görülmektedir.

Şekil 5.78’de ise sırasıyla SO₂, NO, NO₂ ve O₃ kirleticilerine ait katkı grafikleri hazırlanmıştır. Kentsel istasyon için hazırlanan rüzgar sektör analizleri ile görüldüğü gibi istasyona kuzey-kuzey-batı sektörlü esen rüzgarla ile Seyitömer Termik Santrali’nden yüksek oranda kirletici katkısı sağlandığı düşünülmektedir.



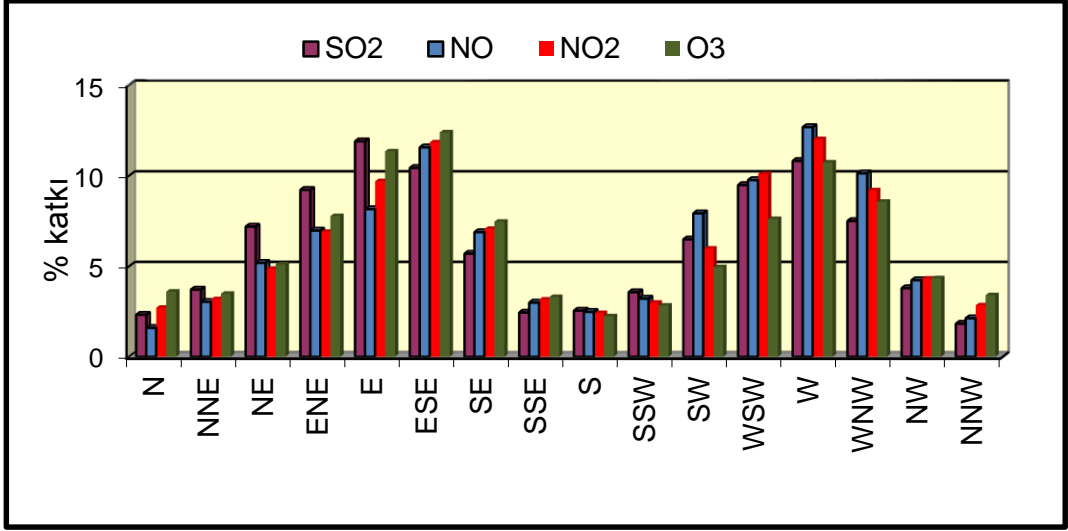
Şekil 5.77. Kentsel istasyondaki farklı rüzgar yönlerinden yüzde katkı



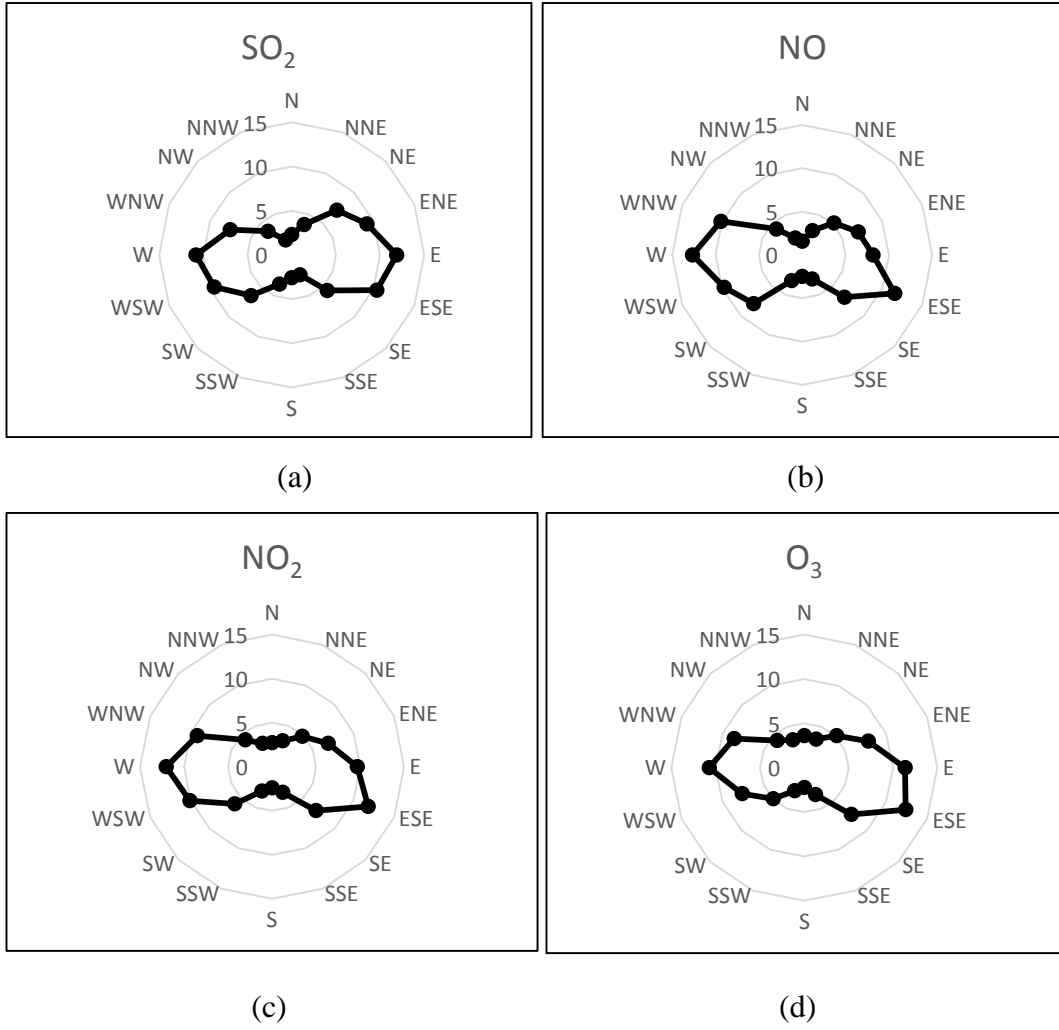


Şekil 5.78. Kentsel istasyondaki SO_2 (a), NO (b), NO_2 (c) ve O_3 (d) kirleticilerine ait katkı grafikleri

Şekil 5.79 incelendiğinde, kırsal istasyonda ölçülen inorganik kirletici derişimlerine 06.01.2014-03.09.2014 tarihleri arasında, büyük oranda doğu ve batı yönünden esen rüzgarların (ENE, E, ESE, SE, SW, WSW, W VE WNW) katkısı olduğu görülmektedir. Şekil 5.80'de ise sırasıyla SO_2 , NO , NO_2 ve O_3 kirleticilerine ait katkı grafikleri hazırlanmıştır. Yıl boyunca hakim rüzgar yönünün doğu ve batı yönünden esmesi (Şekil 4.2 (b)) ve doğu ve batı yönünden esen rüzgarlarda yüksek derişime sahip kirletici bir kaynak olmadığından, SO_2 derişimleri düşük seviyelerde bulunmaktadır. Ancak Bölüm 5.2.3'te açıklandığı gibi yüksek derişimlere ulaşan günler (Şekil 5.33) için yapılan kirletici gülleri ile bu kirliliğin kuzey ve kuzey-kuzey batı sektörlü esen rüzgarlar ile Tunçbilek Termik Santrali'nden taşınabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.79. Kırşal İstasyondaki farklı rüzgar yönlerinden yüzde katkı



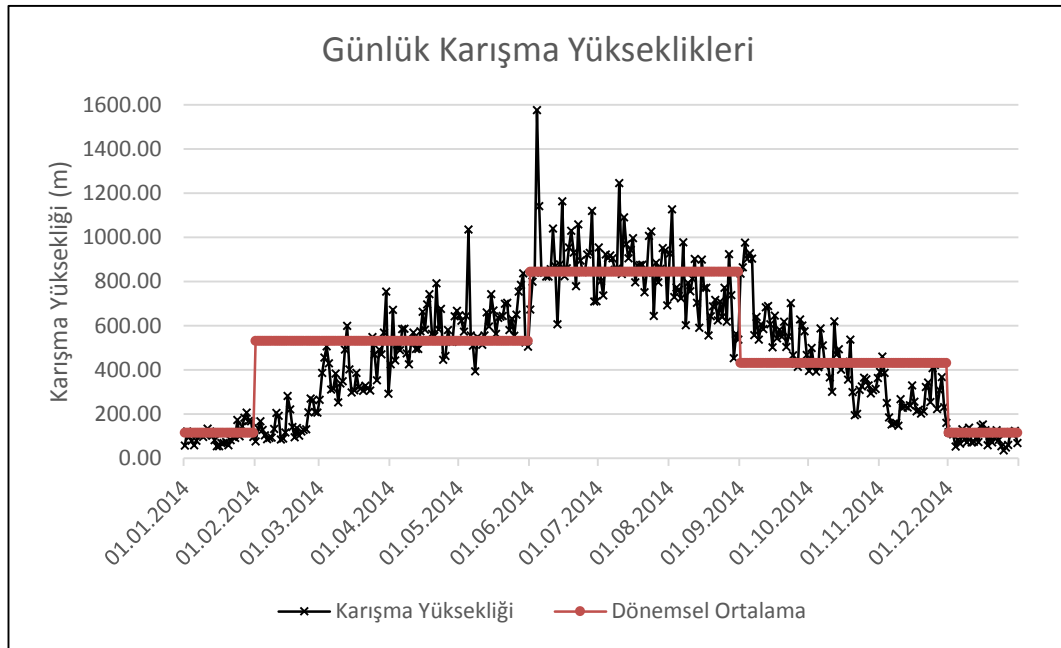
Şekil 5.80. Kırşal İstasyondaki SO₂ (a), NO (b), NO₂ (c) ve O₃ (d) kirliticilerine ait katkı grafikleri

5.5.3. Derişimlerin karışma yüksekliğine göre değerlendirilmesi

Karışma yüksekliği meteorolojik faktörler içerisinde en önemli parametrelerden bir tanesidir. Karışma yüksekliğinin hava kirliliğinde bu kadar önemli olmasının sebebi kirleticilerin içerisinde yer alacağı hacmin belirleyicisi olmasıdır. Genellikle karışma yüksekliği ne kadar büyükse hava o kadar temizdir (İncecik, 1994).

Karışma yüksekliğini hesaplamak için kullanılan radyosonda ölçümleri, maliyet ve uzmanlık ihtiyacı gibi sebeplerden dolayı Türkiye’de sadece 8 ilde, 9 noktada (İstanbul, Ankara, İzmir, Samsun, Antalya, Isparta, Diyarbakır ve Adana (2 istasyon)) yürütülebilmektedir. Bu sebeple, karışma yüksekliği ile ilgili olan veriler, en yakın radyosonda istasyonu olan Isparta istasyonundan temin edilmiştir.

Karışma yüksekliği ölçülen günler için, günde iki defa ölçümü yapılan karışma yüksekliğinin ortalaması alınarak, günlük karışma yüksekliği (a) ve aylık karışma yüksekliği profili (b) hazırlanmış ve Şekil 5.81’de gösterilmiştir.



(a)

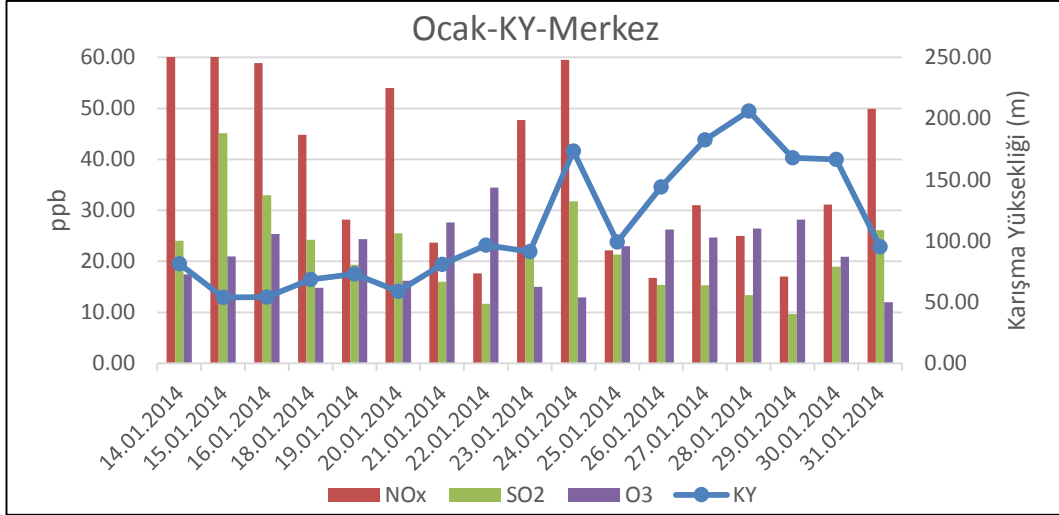


(b)

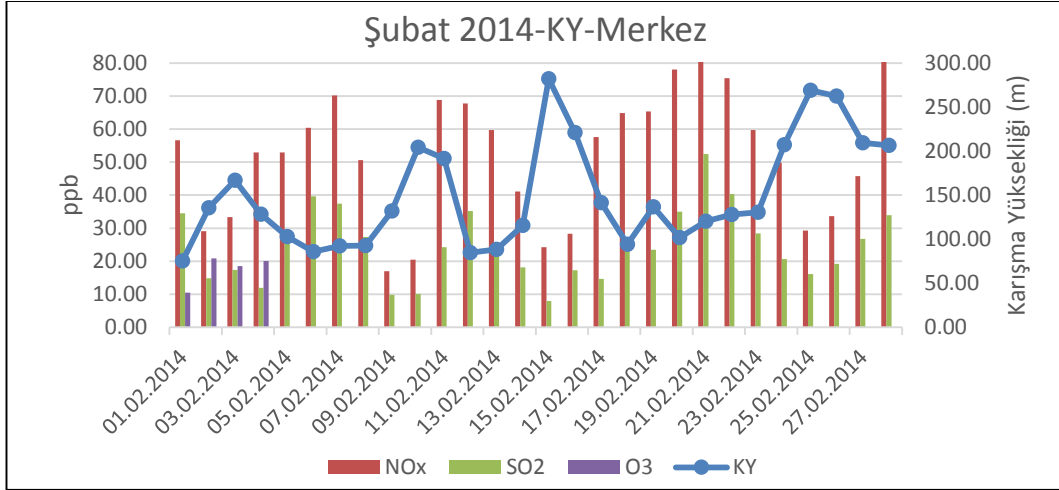
Şekil 5.81. Ölçümü yapılan günler için karışma yüksekliği ortalamaları (a) ve aylık karışım yüksekliği ortalamaları (b)

Karışma yüksekliği grafiğinin yorumlanmasını kolaylaştırması açısından kış dönemini temsil etmesi için 1 Ocak 2014-28 Şubat 2014 ve 1 Aralık 2014-31 Aralık 2014, ilk bahar dönemi için 1 Mart 2014-31 Mayıs 2014, yaz dönemi için 1 Haziran 2014-31 Ağustos 2014 ve sonbahar dönemi için 1 Eylül 2014-30 Kasım 2014 arasındaki tarihler seçilmiştir. Şekil 5.81’de görüldüğü ve beklendiği gibi yaz dönemindeki karışma yükseklikleri, kış dönemindeki karışma yüksekliklerinden daha yüksek seviyelerdedir. İlkbahar ve sonbahar dönemindeki karışma yükseklikleri ise yaz ve kış dönemi karışma yükseklikleri arasındadır.

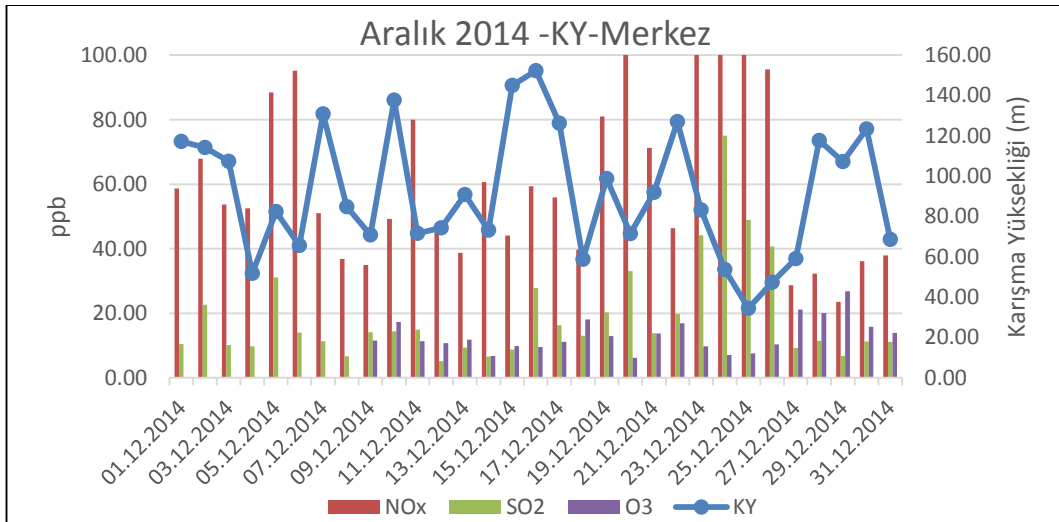
Karışma yükseklikleri ve her iki istasyondaki kirletici seviyeleri arasındaki olası ilişkiyi görmek için Şekil 5.82 ve Şekil 5.83 hazırlanmıştır.



(a)

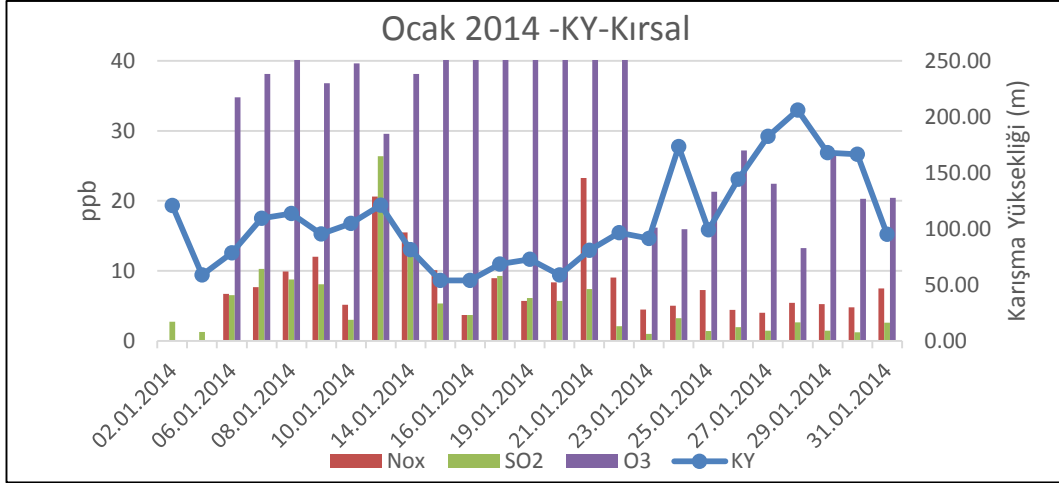


(b)

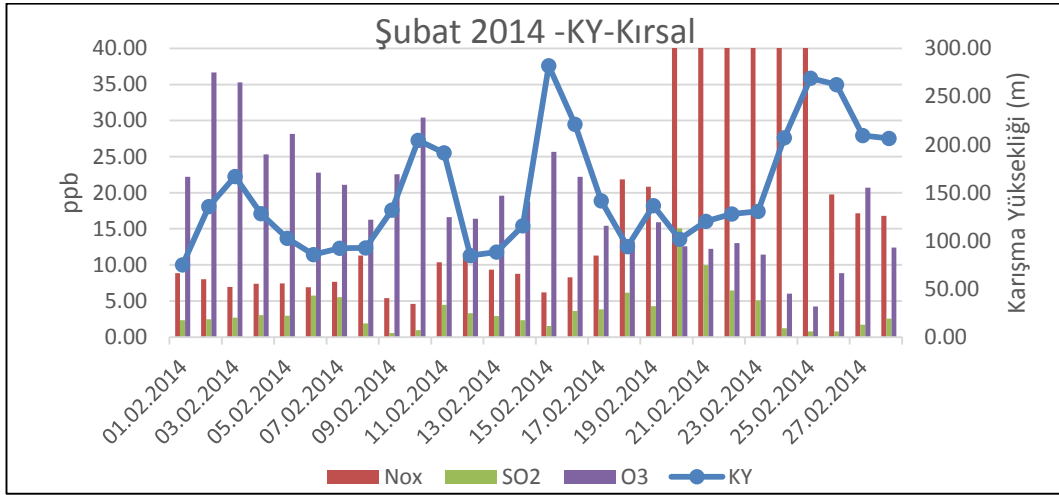


(c)

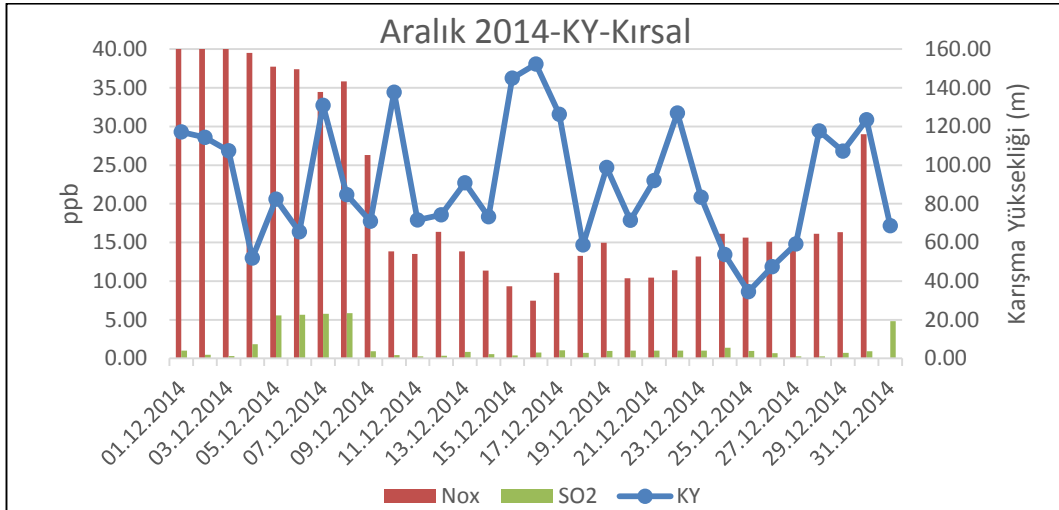
Şekil 5.82. Kentsel istasyondaki kış dönemine ait karışma yüksekliği-kirletici derişimleri grafiği, Ocak ayı (a), Şubat ayı (b) Aralık ayı (c)



(a)



(b)

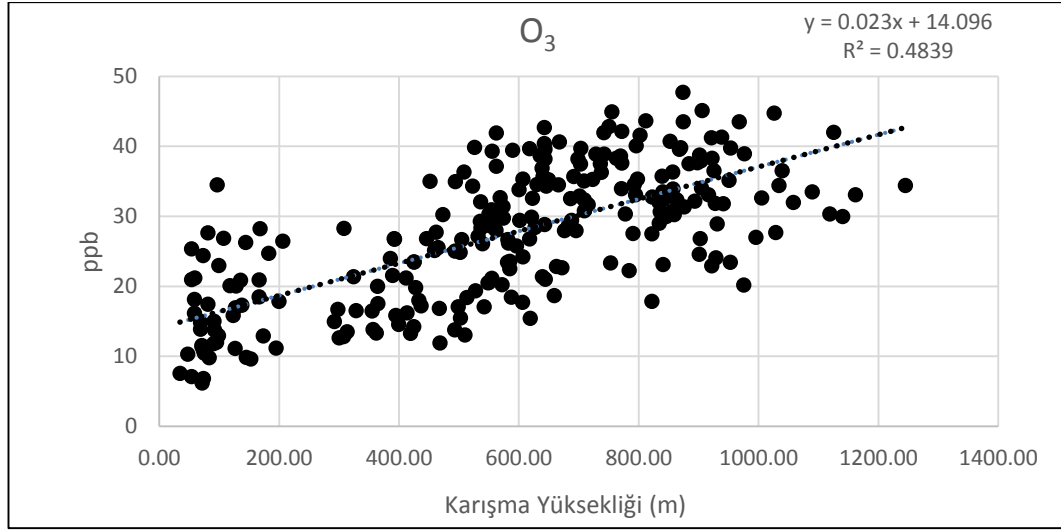


(c)

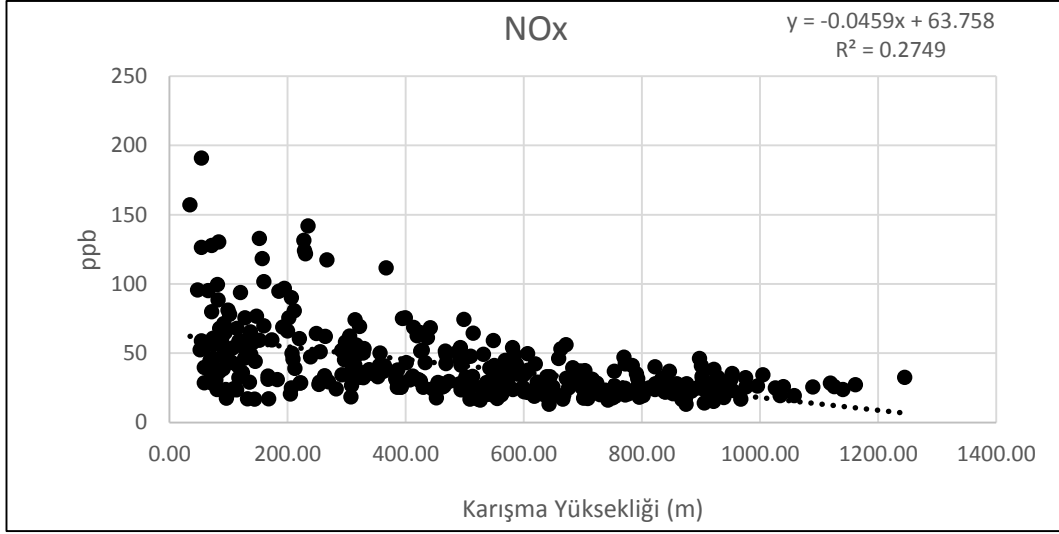
Şekil 5.83. Kırsal istasyondaki kış dönemine ait karışma yüksekliği-kirletici derişimleri grafiği, Ocak ayı (a), Şubat ayı (b) Aralık ayı (c)

1 Ocak 2014-28 Şubat 2014 ve 1 Aralık 2014-31 Aralık 2014 tarihleri arasında yer alan ve kış dönemini temsil eden karışma yükseklikleri, diğer mevsimlere göre yeryüzüne yakın seviyelerdedir. Her iki istasyonda ölçülen çoğu kirletici için, bu düşük seviyelerdeki karışma yükseklikleri sebebiyle kirletici derişimleri de yüksek olarak ölçülmüştür.

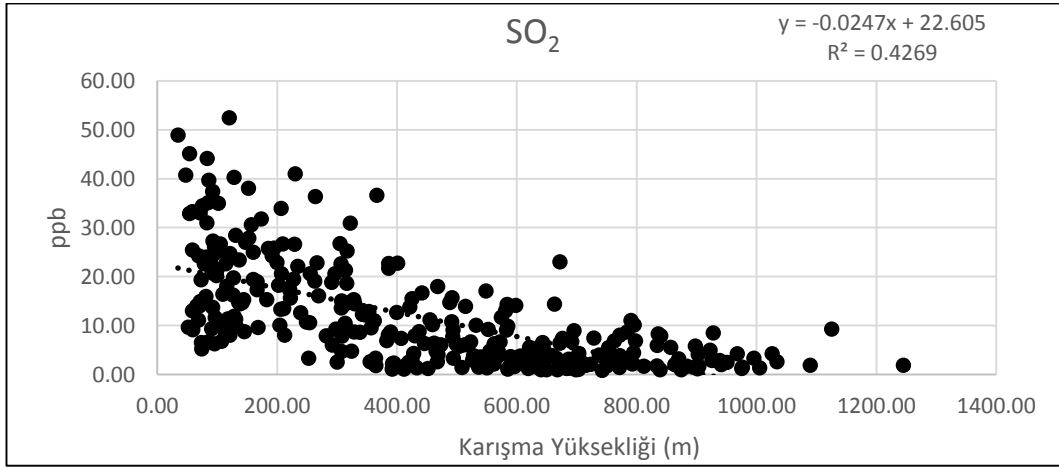
Örnekleme periyodu boyunca sürekli olarak ölçülen kirletici derişimlerine karşı karışım yükseklikleri arasındaki ilişki Şekil 5.84’de gösterilmiştir. Şekil 5.84 dikkatli bir şekilde incelenirse, karışım yüksekliği ile ozon arasında (a) doğrusal bir ilişki varken NO_x (b) ve SO_2 (c) ile arasında ters ilişki olduğu görülebilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.84. Kentsel istasyon için hazırlanan karışma yüksekliğine karşı O₃ (a), NO_x (b) ve SO₂ (c) derişimleri grafiği

6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, hava kalitesi açısından Türkiye'nin en kirli kentlerinden birisi olan Kütahya ili ve çevresindeki hava kalitesi değerlendirilmiştir. Bu amaçla bir yıl boyunca işletilmek üzere, bir kentsel ve bir de kırsal istasyon olmak üzere toplam iki sabit hava kalitesi ölçüm istasyonu kurulmuştur.

Her iki hava kalitesi ölçüm istasyonunun konumları, ÇÖKV yöntemleri olan AHP ve ELECTRE III metotları ile desteklenmiştir. Bu metotların başlıca girdileri; AERMOD dağılım modeli kullanılarak oluşturulan kirletici dağılım haritaları ve mikro ölçekli yer seçim kriterleridir. Bu amaçla, kentsel istasyon için 5 ve kırsal istasyon için 7 farklı potansiyel alternatif belirlenmiştir. Kentsel ve kırsal alan istasyonları yer seçimi için yedi kriter seçilmiştir. İki metotla da yapılan çalışmada en iyi alternatif olarak aynı noktalar belirlenmiş ve iki metot birbirlerini doğrular nitelikte sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada kullanılan ÇÖKV metotları, hava kalitesi izleme istasyonlarının yerlerinin belirlenmesindeki mevcut konumlara ek ve destekleyici çalışmalar olarak kullanılmıştır.

İstasyonların kurulmasından sonra, SO₂, NO_x ve O₃ analizörlerine ait veriler toplanmış, cihazların kalibrasyon ve bakımları yapılmış ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Kırsal istasyondaki ozon seviyeleri kentsel istasyondaki ozon seviyelerinden beklendiği gibi yüksek seviyelerde ölçülürken, SO₂ seviyeleri için bu durum tam tersidir. Kentsel istasyonda kış aylarında evsel ısınmanın etkisiyle daha yüksek SO₂ derişimleri ölçülmektedir. Ancak yazın bazı günlerde yüksek SO₂ derişimleri de ölçülmüştür. Yüksek ölçülen SO₂ derişimlerinin Seyitömer Termik Santralinin etkisiyle olduğu rüzgar sektör analizleriyle gösterilmiştir. Kırsal istasyonda hakim rüzgar yönü kirletici kaynakların bulunmadığı doğu ve batı yönleridir. Bu nedenle ölçüm yapılan günlerin bir çoğunda yüksek SO₂ derişimleri ölçülmemiştir. Öte yandan yüksek derişimlerin ölçüldüğü günler için hazırlanan kirletici gülleri, kuzey ve kuzey-kuzey-batı yönlerini göstermektedir. Bu yönlerde Tunçbilek Termik Santrali yer almaktadır. Yüksek derişimler gözlemlenen günler için hazırlanan kirlilik gülü haritaları ile Tunçbilek Termik Santrali'nden kaynaklı emisyonların kuzey, kuzey-kuzey-doğu sektörlü esen rüzgarlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

İstasyonlarda ölçülen değerler, yönetmelikte yer alan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Tezin Ek-1’inde yer alan SO₂ hedef değerler kırsal istasyonda ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında, saatlik (470 µg/m³), 24 saatlik (225 µg/m³), yıllık ve kış dönemi (20 µg/m³) (1 Ekim’den 31 Mart’a kadar) verilerinde bir sınır aşımı gözlenmemiştir. Kentsel istasyondaki saatlik veriler hedef değerler ile karşılaştırıldığında ise bu değeri 4 defa aştığı görülmektedir. Ancak yönetmelikte yer alan “bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz” koşuluna uymaktadır. 24 saatlik verilerde ise herhangi bir limit aşımı gerçekleşmezken, yıllık ve kış dönemi ortalamaları sınır değerinin üzerine çıkmaktadır (yıllık ortalama sınır değeri 20 µg/m³ iken, istasyon yıllık ortalama değeri 35.6 µg/m³, istasyon kış ortalama değeri 50.2 µg/m³’tür. NO_x kirleticisi için, tez içerisindeki Ek-2’de yer alan NO₂ hedef değerler kırsal istasyonda ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında, saatlik verilerde (saatlik hedef değer 290 µg/m³) 14 defa sınır aşımı gözlenmiştir. Ancak yönetmelikte yer alan “bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz” koşuluna uymaktadır. Yıllık (insan sağlığının korunması için) hedef değerler (yıllık hedef değer 58 µg/m³) ile karşılaştırıldığında ise herhangi bir limit aşımı gözlenmemektedir. Kentsel istasyondaki saatlik ve yıllık ortalama değerleri hedef değerler ile karşılaştırıldığında ise bu değeri hiç aşmadığı görülmektedir. Tez içerisindeki Ek-2’de yer alan NO_x hedef değerleri (vejetasyonun korunması için - yıllık hedef değer 30 µg/m³), kırsal ve kentsel istasyonda ölçülen yıllık ortalama değerleri ile karşılaştırıldığında ise her iki istasyonda da aştığı görülmektedir. Son olarak Ozon için ise, tez içerisindeki Ek-3’de yer alan O₃ hedef değerler (120 µg/m³) kırsal istasyonda ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında, bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalama verilerinde 72 defa bir sınır aşımı gözlenmiştir. Kentsel istasyondaki veriler hedef değerler ile karşılaştırıldığında ise bu değeri 11 defa aştığı görülmektedir.

İstasyonlardaki aktif ölçüm verileri ile bazı dönemlerdeki eş zamanlı pasif örnekleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki ölçüm metodu kullanılarak elde edilen veriler arasında yüksek korelasyon görülmüştür. Hava kalitesi modelleme çalışmaları ile elde edilen derişimlerin bu veriler ile karşılaştırılması faydalı olacaktır.

Yapılan çalışmada, kırsal ve kentsel istasyon için tüm kirleticiler ayrı ayrı meteorolojik parametrelerle ilişkilendirilmiştir. Modellerin uygunluğu determinasyon katsayısına (R^2) göre belirlenmiştir. Rüzgar hızı, sıcaklık ve karışma yüksekliği kirleticilerin derişimlerini belirleyen en önemli meteorolojik parametrelerdir.

Kirletici seviyelerinde, kış aylarında evsel ısınma ve trafiğe bağı olarak artışlar görülmüştür. NO_x/SO_2 oranı ise mevsimsel olarak kaynakların değışimini göstermektedir. Düşük NO_x/SO_2 oranı, yüksek kükürt içeriğine sahip kömürlerin yakıldığı nokta kaynakları tanımlamaktadır. Sıcaklığın daha düşük olduğu (Aralık, Ocak, Şubat) aylarda konut ısınmasının trafik yüküne oranla daha etkin bir kaynak olduğu bulunmuştur. Kirletici kaynaklarının belirlenmesinde NO_x/SO_2 indeksinden de yararlanılabilir.

Atmosferdeki etkileşimlerin belirlenmesinde meteorolojik parametreler ile kirleticiler arasındaki istatistiksel ilişki önemlidir. Kirleticiler ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki, hava kirliliği hakkında önemli bilgi sağlamaktadır. Bu nedenle kirlilik seviyelerinin tahmin edilmesinde bu tip modellerin kullanımı önerilmektedir. Bu amaçla çoklu regresyon analizi ile istasyonlarda ölçülen kirleticiler ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki incelenmiştir. Ozon ve SO_2 derişimlerinin hesaplanmasında, rüzgar hızı, sıcaklık, nem ve güneşlenme radyasyonu gibi meteorolojik parametrelerinin yanında NO_x ve bir önceki günün O_3 ve SO_2 derişimlerinin de etkili olduğu görülmüştür. Meteorolojik ve kirlilik parametrelerinin ölçüm yerlerinin farklı olması sonuçlar üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışması 112Y305 No'lu TÜBİTAK projesinin bir iş paketine ait sonuçları göstermektedir. Projenin diğeri iş paketlerinde elde edilen veriler, bu tez çalışması sonuçları ile birlikte değerlendirilecektir. Termik santrallerin bölge hava kalitesine etkisinin belirlenmesi aşamasında istasyonlarda ölçülen PM metal derişimleri, gaz fazı kirletici derişimleri ile birlikte değerlendirileceğinden daha kesin sonuçlara ulaşılması beklenmektedir.

Kütahya ilindeki nüfusun ve insan aktivitelerinin, nüfus dağılımı ve ilgili arazi kullanımının daha güvenilir analizlerini yapabilmek için, hava kirliliği izleme istasyonlarının sayısı ve ölçüm periyodu artırılmalı, ölçümlerin eksiksiz ve düzenli

yapılması sağlanmalıdır. Şehrin emisyon envanterinin sonuçlandırılması, mevcut hava kirliliği dağılım modellerinin uygulanmasını ve şehir üzerinde kirlilik dağılım seviyelerinin daha iyi analizini sağlayacaktır.

Mevcut veriler, Kütahya hava kalitesinin kirli sayılmayacak bir nokta da olduğunu göstermektedir. Kent merkezinde doğalgaza geçilmesi ile birlikte SO₂'de bir azalma görünmesine karşı partikül madde de herhangi bir düşüş gözlenememesi araştırılması gereken bir husustur.

Sanayi tesislerinin bulunduğu ilçelerde de ölçümler yapılmalıdır (özellikle emisyon yüklerinin yüksek çıktığı Tavşanlı ve Seyitömer de birer istasyon bulundurulmalıdır). Cihazların bu tip yoğun yaşam alanlarına alınmaması durumunda değerlerin genellikle sınır değerlerin altında kalacağı ve gerçek yaşamsal alan verilerini yansıtmayacağı görülmektedir.

Ek- 1. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında SO₂ için belirlenen hedef değerler (Anonim, 2008)

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih	Uyarı eşiği
SO ₂	saatlik -insan sağlığının korunması için-	350 µg/m³ (bir yılda 24 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde 150 µg/m³ (limit değerinin %43'ü) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır			1.Ocak 2019	500 µg/m³ (hava kalitesinin temsili bölgelerinde bütün bir "bölge" veya "alt bölgede" veya en azından 100 km ² 'de- hangisi küçük ise - üç ardışık saatte ölçülür)
	24 saatlik -insan sağlığının korunması için-	125 µg/m³ (bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde 125µg/m³ (%100) ve 1.1.2019 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	24-saatlik limit değerinin %60'ı (75 µg/m³ bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)	24-saatlik limit değerinin %40 'ı (50 µg/m³ bir yılda 3 defadan fazla aşılmaz)		
	yıllık ve kış dönemi (1 Ekim den 31 Marta kadar)	20 µg/m³		Kış dönemi limit değerinin %60'ı (12 µg/m³)	Kış dönemi limit değerinin %40'ı (8 µg/m³)	1 Ocak 2014	

Ek-2. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında NO_x için belirlenen hedef değerler (Anonim, 2008)

Kirletici	Ortalama süre	Limit değer	Tolerans payı	Üst değerlendirme eşiği	Alt değerlendirme eşiği	Limit değere ulaşılacak tarih	Uyarı eşiği
NO ₂	saatlik -insan sağlığının korunması için-	200 µg/m³ (bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	1.1.2014 tarihinde 100 µg/m³ (% 50) ve 1.1.2024 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %70'i (140 µg/m³ bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	limit değerinin %50'si (100 µg/m³ bir yılda 18 defadan fazla aşılmaz)	1.Ocak 2024	500 µg/m³ (hava kalitesinin temsili bölgelerinde bütün bir "bölge" veya "alt bölgede" veya en azından 100 km ² 'de- hangisi küçük ise - üç ardışık saatte ölçülür)
	yıllık -insan sağlığının korunması için-	40µg/m³	1.1.2014 tarihinde 20 µg/m³ (% 50) ve 1.1.2024 tarihine kadar tolerans payı sıfırlanacak şekilde her 12 ayda bir eşit miktarda yıllık olarak azaltılır	limit değerinin %80'i (32 µg/m³)	limit değerinin %65'i (26 µg/m³)	1.Ocak 2024	
NO _x	yıllık -vejetasyonun korunması için-	30 µg/m³	-	limit değerinin %80'i (24 µg/m³)	limit değerinin %65'i (19,5 µg/m³)	1 Ocak 2014	

Ek-3. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği taslağında O₃ için belirlenen hedef değerler (Anonim, 2008)

Hedef	Ortalama Süre	2022 için Hedef değer ¹	Uzun Vadeli hedef
İnsan sağlığının korunması	Bir yılda maksimum günlük 8 saatlik ortalama	120 µg/m³ değeri üç yıllık ortalama alındığında bir yılda 25 günden daha fazla süre boyunca aşılmayacaktır ² (b)	120 µg/m³
Vejetasyonun korunması	Mayıs ayından Temmuz ayına kadar 1 saatlik değerlerden hesaplanacak AOT40	Beş yıllık ortalaması 18 000 µg/m³·saat (b)	6 000 µg/m³·saat

(a) Hedef değerler ile uyumluluk bu yıldan itibaren değerlendirilecektir. Bir başka ifade ile verilerin, takip eden üç veya beş yıl sonunda uyumluluğun hesaplamasında kullanılacağı ilk yıl 2022'dir.

(b) Eğer üç veya beş yıllık ortalamalar belirlenemiyorsa yıllık verilerin ardışık ve tam seti bazında, hedef değerler ile uyumluluğu kontrol etmek için gerekli minimum yıllık veriler aşağıdaki gibidir;

- insan sağlığının korunmasında hedef değer için bir yıllık geçerli veri
- vejetasyonun korunmasında hedef değer için üç yıllık geçerli veri

¹ Hedef değerler ile uyumluluk bu yıldan itibaren değerlendirilecektir. Bir başka ifade ile verilerin, takip eden üç veya beş yıl sonunda uyumluluğun hesaplamasında kullanılacağı ilk yıl 2022'dir.

² Eğer üç veya beş yıllık ortalamalar belirlenemiyorsa yıllık verilerin ardışık ve tam seti bazında, hedef değerler ile uyumluluğu kontrol etmek için gerekli minimum yıllık veriler aşağıdaki gibidir;

Ek-4. SO₂ ölçüm yöntemleri

Yöntem	Açıklama	Referans	Avantaj / Dezavantaj
1. Manuel ve Aktif Yöntemler			
TCM-West-Gaeke	Spektrofotometri (pararosanilin)		Numune kararsızlığı, atık problemleri
TEA (+ glükol)	Spektrofotometri (pararosanilin)		
KOH (+gliserol)	Spektrofotometri (baryum iyonları + DMSA)		IC tercih edilir
Na ₂ CO ₃ (+gliserin)	İyon Kromatografi		
TEA + Na ₂ CO ₃	İyon değişiminden sonra Thorin yöntemi		
Asidimetrik yöntem	Seyreltik H ₂ O ₂ çözeltisinde absorblanır ve sülfirik aside yükseltgenir. Oluşan ürünün asitliliği, standart alkali kullanılarak, genellikle sodyum tetraboratla titre edilerek hesaplanır	WHO 1976	+Pahalı değildir -SO ₂ için spesifik değildir
İyon kromatografik yöntem	Seyreltik hidrojen peroksit çözeltisi içinde tutulur. Toplanmış sülfat iyonlarının analizi, iyon kromatografisi ile yapılır.		+Toplama tekniği basittir ve sülfat iyonlarının analizi spesifiktir. - kromotograf da karmaşık ve pahalı bir analitik cihazdır.

Ek-4. (Devam) SO₂ ölçüm yöntemleri

İmpregne edilmiş filtre yöntemi	Potasyum hidroksit impregne edilmiş filtre üzerinde sülfid olarak absorblanır.		+ kabarcıklanma ve absorpsiyon çözeltilerinin istenilmediği hallerde uygulanabilir -Thorin yöntemi ile aynı.
2. Otomatik Yöntemler			
Otomatik analizörler	UV Floresans	Eşdeğer metot: EQSA – 0802-1-149	+Geniş bir ölçüm aralığı (0-500 ppb) vardır. -Yüksek maliyetlidir.

Ek-5. NO₂ ölçüm yöntemleri

Yöntem	Açıklama	Referans	Avantaj / Dezavantaj
1. Manuel Yöntemler			+ Düşük maliyetli - Kesikli ve zaman alıcı ölçümler
Modifiye edilmiş Griess-Saltzman	Absorplayıcı çözeltide tutma (azo boyası formundaki ayıraç) + Kolorimetre	ISO 6768	- Muhtemel girişimlerin olması - Saltzman faktörünün belirsizliği
Saltzman	Absorplayıcı çözeltide tutma (azo boyası formundaki ayıraç) + Kolorimetre	VDI 2453	- Muhtemel girişimlerin olması
Arsenite	Absorplayıcı çözeltide tutma (NaOH/NaAsO ₂)+Kolorimetre		- Muhtemel girişimlerin olması
Pasif Örnekleme	Absorban üzerinde pasif örnekleme (TEA) + Kolorimetre		+ Düşük maliyetli, Geniş ölçekte gözlemlene için ideal - Kısa zaman aralıklarında uygulanamaması

Ek-5. (Devam) NO₂ ölçüm yöntemleri

2.Otomatik Yöntemler			+ Sürekli ve gerçek zamanlı ölçümler yapılması - Düzenli kalibrasyon ve bakım gerektirmesi
Kulometrik (Coulometrik)	Elektrik hücresi içindeki redoks tepkimeleri + elektrik akımının ölçümü		- Muhtemel girişimlerin olması
Kimyasal Işıma (Chemiluminescence)	NO ₂ 'nin NO'ya dönüşümü + NO ve O ₃ arasındaki kimyasal ışımaya tepkimelerinin ölçümü	ISO 7996	+Yüksek doğruluk ve ölçüm ağında yaygın kullanılan metot olması
3.Optik Yöntemler			+ Eş anlı birçok bileşenin analizinin yapılması
DOAS	Işık yolu boyunca diferansiyel optik absorpsiyon spektrofotometresi		+ Kolay olması ve bakım gerektirmemesi - Pahalı analizör olması
DIAL	Geriye yansıyan lazer ışığın diferansiyel optik absorpsiyonu		+ 2 boyutlu harita çıkarılması - Pahalı analizör olması

Ek-6. O₃ ölçüm yöntemleri

Yöntem	Açıklama	Referans	Avantaj / Dezavantaj
1. Manuel Yöntemler			+ Düşük maliyetli - Kesikli ve zaman alıcı ölçümler
BAKI	Borik asit içinde ozonun absorpsiyonu Tamponlanmış potasyum iyodür + fotometre	(Flamm)	- Ozona spesifik değil
NBKI	Nötral tamponlanmış potasyum iyodür içinde ozonun absorpsiyonu + fotometre	EPA	- Ozona spesifik değil - Pozitif girişimlerin olması
İndigo sülfonik asit metodu	İndigo sülfonik asit çözeltisi içinde ozonun absorpsiyonu + fotometre	VDI 2468 B1.5	- Muhtemel girişimlerin olması
Pasif Örnekleme	Absorban maddeler (DPE, KI, indigo) üzerinde pasif örnekleme + fotometre		+Düşük maliyetli, geniş ölçekte gözlemleme için ideal -Kısa zaman aralıklarında uygulanamaması

Ek-6. (Devam) O₃ ölçüm yöntemleri

2.Otomatik Yöntemler			+ Sürekli ve reel zaman ölçümleri yapılması - Düzenli kalibrasyon ve bakım gerektirmesi
Kimyasal ışıma (Chemiluminescence)	Ozon ve etilen arasındaki kimyasal ışıma reaksiyonunun ölçümü	ISO 10313 VDI 2468	- Etilen yanabilir bir gazdır
UV fotometrik metot	Ozon ile UV absorpsiyon ölçümü	ISO 7996	- Muhtemel girişimlerin olması (nem, bazı UOB'ler)
3.Optik Yöntemler			+ Es anlı birçok bileşenin analizinin yapılması
DOAS spektrometre	Işık yolu boyunca diferansiyel optik absorpsiyon spektrofotometresi		+ Kolay olması ve bakım gerektirmemesi - Pahalı analizör olması, atmosferdeki sisin ölçümleri yanıltması
DIAL spektrometre	Geriye yansıyan lazer ışığın diferansiyel optik absorpsiyonu		+ 2 boyutlu harita çıkarılması - Pahalı analizör olması

Ek-7. İstasyon kontrol çizelgesi

İstasyon Adı		Kontrol eden kişi	Kontrol eden kişi
	
		Tarih	Tarih
	
Kalibrasyon	NO _x		
	SO ₂		
	O ₃		-
	PM		
Numune girişi teflon filtre	NO _x		
	SO ₂		
	O ₃		
	PM		
Kabin içi kontrol edildi mi? Kabinde herhangi bir su sızıntısı var mı?			
Kompresör'de arıza var mı?			
Elektrik problemi var mı?			
Klima'da arıza var mı?			
Cihaz ve ekipmanlarda arıza ve alarm var mı?			
UPS'de arıza var mı?	Kaç saat sistemi besledi?		
Bilgisayar'da problem var mı?			
Gelen veriler sağlıklı mı?			
Bilgisayara veri aktarımı yapıldı mı? Sorunsuz mu? Cihaz belirtiniz.			
Not:			

Ek-8. Kamu ve özel sanayi kuruluşlarının sektör olarak dağılımı (Dinç ve ark., 2011)

		Merkez	Altıntaş	Aslanapa	Çavdarhisar	Domaniç	D.Pınar	Emet	Gediz	Hisarcık	Pazarlar	Simav	Şaphane	Tavşanlı	Toplam
1-Madencilik ve taş ocakçılığı sanayi (metal dışı mad. kömür dahil, metalik madenler)	Firma Sayısı	9	1	-	-	-	-	1	8	1	-	2	-	11	33
	İstihdam Sayısı	1929	-	-	-	-	-	812	729	-	-	98	-	3548	7116
2-Seramik,porselen ve çini sanayi	Firma Sayısı	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39
	İstihdam Sayısı	4696	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4696
3-Taş ve toprağa bağlı sanayi	Firma Sayısı	21	2	-	-	-	-	-	4	-	-	3	-	4	34
	İstihdam Sayısı	1372	21	-	-	-	-	-	154	-	-	27	-	94	1668
4-Şeker, un, bitkisel ve hayvansal yağlar gıda sanayi	Firma Sayısı	30	6	1	3	1	-	-	7	3	-	15	1	15	82
	İstihdam Sayısı	1002	54	6	3	3	-	-	49	39	-	155	10	344	1665
5-Orman ürünleri ve mobilya sanayi (Parke, Kereste,ambalaj, ağaç mobilya, döşeme)	Firma Sayısı	8	-	-	-	-	-	-	3	-	-	32	-	3	46
	İstihdam Sayısı	117	-	-	-	-	-	-	126	-	-	389	-	-	632
6-Kimya,gübre,lastik,plastik,cam,kâğıt sanayi, (pvc boru)	Firma Sayısı	16	-	-	-	1	-	-	6	-	-	-	1	1	25
	İstihdam Sayısı	841	-	-	-	-	-	-	313	-	-	-	50	24	1228
7-Dokuma,giyim,deri sanayi	Firma Sayısı	7	-	-	-	-	-	-	5	-	2	9	-	3	26
	İstihdam Sayısı	511	-	-	-	-	-	-	350	-	136	227	-	100	1324
8-Madeni eşya ve makine imalat sanayi (metal yapı malz.,kalorifer kazanı,egzost)	Firma Sayısı	24	-	-	-	1	-	-	4	-	-	3	-	4	36
	İstihdam Sayısı	392	-	-	-	10	-	-	50	-	-	74	-	9	535
9-Enerji sektörü (Termik ve Hidroelektrik santralleri)	Firma Sayısı	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	3
	İstihdam Sayısı	604	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	459	1072
TOPLAM	Firma Sayısı	155	9	1	3	3	-	1	38	4	2	64	2	42	324
	İstihdam Sayısı	11464	75	6	3	13	-	812	1780	39	136	970	60	4578	19936

KAYNAKLAR

- Acar, I. P., Özkan, A. ve Banar, M. (2003). *Evaluation of the Alternative Solid Waste Landfill Sites by Decision Analysis with Multiple Criteria: A Case Study in Eskişehir City/Turkey*. Paper presented at the 8th Annual International Conference on Industrial Engineering-Theory, Applications and Practice, Las Vegas.
- AD-HOC. (1999). Working Group on Ozone Directive and Directive and Reduction Strategy Development, . Ozone Position Paper.
- Akdur, R., Çöl, M., Işık, A., İdil, A., Durmuşoğlu, M. ve Tunçbilek, A. (1998). *Halk Sağlığı* (Vol. 26). Antıp, Ankara: Antıp Aş Tıp Kitapları Ve Bilimsel Yayınları
- Al Sayegh Petkovšek, S., Batič, F. ve Ribarič Lasnik, C. (2008). Norway spruce needles as bioindicator of air pollution in the area of influence of the Šoštanj Thermal Power Plant, Slovenia. *Environmental Pollution*, 151(2), 287-291.
- Alp, K., Avşar, E., Hanedar, A. ve Kösel, M. D. (2008). *Konya'da Eski ve Yeni Hava Kirliliği İzleme Çalışmalarının Değerlendirilmesi*. Paper presented at the Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Aneja, V. P., Adams, A. A. ve Arya, S. P. (2000). An observational based analysis of ozone trends and production for urban areas in North Carolina. *Chemosphere-Global Science*, 2(2), 157-165.
- Anonim. (2008). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. link: <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12188&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>
- Arı, A. (2008). *Eskişehir Atmosferindeki Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların Derişimlerinin ve Kaynaklarının Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arslan, S. E. (2010). *18 Mart Çan Termik Santrali'nin Yakın Çevresinde Yarattığı Kükürtdioksit Kirliliğinin Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ay, E. Y., Balta, M., Çolak, M. ve Semercioglu, H. (2010). *Hava Kirliliği ve Modellemesi*. (Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Banar, M., Özkan, A. ve Kulaç, A. (2010). Choosing a Recycling System Using ANP and Electre III Techniques. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 24(3), 145-154.
- Bloemen, H. ve Şahin, M. (2012). Konya Hava Kalitesi Değerlendirme Raporu (2007-2010) *IKONAIR G2G09/TR/7/1, Büyükşehirlerde Hava Kalitesi Yönetiminin Geliştirilmesi Projesi*. Konya.
- Boşgelmez, A., Paslı, N., Boşgelmez, İ. İ., Savaşçı, S. ve Kaynaş, S. (2000). *Ekoloji I*. Ankara: İsvak Yayınları.
- Boubel, R. W., Fox, D. L., Turner, D. B. ve Stern, A. C. (1994). *Fundamentals of Air Pollution* (Vol. Third Edition). California: Academic Press.
- Chakraborty, N., Mukherjee, I., Santra, A. K., Chowdhury, S., Chakraborty, S., Bhattacharya, S., Mitra, A. P. ve Sharma, C. (2008). Measurement of CO₂, CO, SO₂, and NO emissions from coal-based thermal power plants in India. *Atmospheric Environment*, 42(6), 1073-1082.
- Çolakel, T. (2009). *Hava Kalitesi İzleme İstasyonunun İşletilmesi ve Eskişehir İçin Sürekli Azot Oksit Ölçümlerinin Değerlendirilmesi*. (Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Demir, İ. (2009). *Kömür Hazırlama Teknikleri Kullanılarak Türkiye'deki Kömürlerin İz Element İçerikleri Açısından Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Demircigil Çakmak, G., Erdem, O., Gaga, E. O., Altuğ, H., Demirel, G., Özden, Ö., Arı, A., Örnektekin, S., Dögeroglu, T., Van Doorn, W. ve Burgaz, S. (2013). "Cytogenetic Biomonitoring of Primary School Children Exposed to Air Pollutants: Micronuclei Analysis of Buccal Epithelial Cells. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Demirel, G., Özden, Ö., Dögeroglu, T. ve Gaga, E. O. (2014). Personal Exposure of Primary School Children to BTEX, NO₂ and Ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with Indoor/Outdoor Concentrations and Risk Assessment. *Science of the Total Environment*, 473-474.

- Derilioğlu, G. (2007). *Avrupa Birliği evre Mezuatı ile Türkiye'deki Mevcut Durumun Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova niversitesi, evre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Devrim, A., Demirbağ, E., Küçük, D. ve Ayan, G. M. (2013). Ankara Hava Kalitesi Değerlendirme Raporu *KENTAIR - Kentlerde Hava Kalitesi Değerlendirme Sisteminin Geliştirilmesi Projesi*. Ankara.
- Din, M., Irmak, E., avşı, S. ve Yıldız, G. (2011). Kütahya İl evre Durum Raporu. T.C. Kütahya Valiliği evre ve şehircilik İl Müdürlüğü, Kütahya.
- Djordje, N., Milosevic, N., Mihajlovic, I., Zivkovic, Z., Tasic, V., Kovacevic, R. ve Petrovic, P. (2010). Multi-criteria Analysis of Air Pollution with SO₂ and PM₁₀ in Urban Area Around the Copper Smelter in Bor, Serbia. *Water, Air and Soil Pollution*, 206(1-4), 369-383.
- Doğan, M., Yılmam, C. ve Oktar, A. (2008). *İstanbul Hava Kalitesi lm alışmaları*. Paper presented at the Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Doğru, A. C. (2007). *İzmir İli Hava lm Sisteminin Uygunluğunun Araştılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Ege niversitesi, evre Bilimleri Anabilim Dalı.
- Dlek, E. ve Atımtay, A. T. (2008, 22-25 Ekim). *ISCST3 ve AERMOD Atmosferif Dağılım Modellerinin Karşılaştırılması rnek çalışma: Çayırhan Termik Santrali*. Paper presented at the Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu-2008, Hatay.
- EEA. (2009). EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook-2009, Technical Report No. 9/2009 *EEA (European Environment Agency)*.
- Elbir, T. (2003). Comparison of model predictions with the data of an urban air quality monitoring network in Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 37(15), 2149-2157.
- EnvironnementSA. (2000). Kemilminesans Azot Oksit Analizörü (AC31M) Teknik Kullanım Kılavuzu: Environnement S.A.
- EnvironnementSA. (2002). UV Floresan Slfr Dioksid Analizörü (AF22M) Teknik Kullanım Kılavuzu. In E. S.A. (Ed.). Environnement S.A.
- EnvironnementSA. (2004). UV Fotometrik Ozon Analizörü (42M) Teknik Kullanım Kılavuzu ve sıfır hava filtreleri Environnement S.A.

- EPA. (2010). Applicability of Appendix W Modeling Guidance for the 1-hour SO₂ National Ambient Air Quality Standard. In A. Q. M. Group (Ed.). North Carolina: Research Triangle Park.
- Ertürk, P. (2014). *Kütahya'da Termik Santrallerden Kaynaklanan NO_x, SO₂ ve O₃ konsantrasyonlarının otomatik analizörlerle izlenmesi*. (Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Fierek, S. ve Zak, J. (2012). Planning of an integrated urban transportation system based on macro - simulation and MCDM/A methods. *Proceedings of Ewgt 2012 - 15th Meeting of the Euro Working Group on Transportation*, 54, 567-579.
- Gaga, E. O., Döğeroğlu, T., Özden, Ö., Ari, A., Yay, O. D., Altuğ, H., Akyol, N., Örnektekin, S. ve van Doorn, W. (2012). Evaluation of air quality by passive and active sampling in an urban city in Turkey: current status and spatial analysis of air pollution exposure. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Godish, T. (2004). *Air Quality* (Fourth Edition ed.). Florida: CRC Press Company Lewis Publishers.
- Graham, J. A., Grant, L. D., Folinsbee, L. J., Kotchmar, D. J. ve Garner, J. H. B. (1997). *Environmental Health Criteria*. US EPA.
- Hamel, S. V., Doorn, W. V. ve Arpacioğlu, B. (2004). Preliminary Assessment of Ambient Air Quality for the City of Kütahya *Kütahya*. Matra Pre-accession Projects Program (MPAP).
- Hangartner, M. (2000). *Limits and Advantages of Diffusion Sampling In Ambient Air Pollution Monitoring*. Paper presented at the 7th International Conference on Atmospheric Science and Applications to Air Quality Taipei.
- Hao, J., Wang, L. J., Shen, M., Li, L. ve Hu, J. (2007). Air quality impacts of power plant emissions in Beijing. *Environmental Pollution*, 147(2), 401-408.
- HKDYY. (2008). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. Resmi Gazete Sayısı: 26898.
- http. (2013). NOAA/ESRL Radiosonde veri tabanı. link: www.esrl.noaa.gov/raobs

- http. (2014). Kütahya İlimiz Hakkında Bilgiler. link: http://kutahya_net.tripod.com/Konumu.htm
- Im, U. ve Yenigün, O. (2005). An application of a puff dispersion model on power plant emissions in Yatagan region, Turkey. *Int. J. of Environment and Pollution*, 23(3), 314-324.
- İncecik, S. (1994). *Hava Kirliliği*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Jacob, D. J. (1999). *Introdustion to Atmospheric Chemistry*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Janssen, S., Dumont, G., Fierens, F., Deutsch, F., Maiheu, B., Celis, D. ve Mensink, C. (2012). Land use to characterize spatial representativeness of air quality monitoring stations and its relevance for model validation. *Atmospheric Environment*, 59(0), 492-500.
- Jones, C. (2008). *Atmospheric Pollution* (Vol. 1st edition). London: Bookboon.
- Kamışoğlu, S. (2008). *Yatağan ve Çevresinde Morfo-Klimatik Özelliklerin Ortam-İnsan Sağlığı İlişkisi ve Çevre Eğitimi*. (Yüksek Lisans Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Ortaöğretim Sosyal Alanlar Eğitimi Anabilim Dalı.
- Kanaya, Y., Tanimoto, H., Matsumoto, J., Furutani, H., Hashimoto, S., Komazaki, Y., Tanaka, S., Yokouchi, Y., Kato, S., Kajii, Y. ve Akimoto, H. (2007). Diurnal variations in H₂O₂, O₃, PAN, HNO₃ and aldehyde concentrations and NO/NO₂ ratios at Rishiri Island, Japan: Potential influence from iodine chemistry. *Science of the Total Environment*, 376(1–3), 185-197.
- Kantarci, M. D. ve Şen, O. (2008). *İskenderun ve Mersin Körfezleri İli Çevresinde Hava Kütlelerinin Hareketleri ve Soğuk Hava Çökmesi İle Kirli Hava Yayılması Olayları Üzerine İnceleme*. Paper presented at the Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, Hatay.
- Kara, G., Bloemen, H. ve Öztürk, E. D. (2013). *Konya İlinde Hava Kalitesi Belirlenmesinde Pasif Örnekleme Metodunun Kullanılması*. Paper presented at the Uluslararası Katılımlı V.HAVA KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜ SEMPOZYUMU (HKK2013), Eskişehir.
- Karaca, A., Türkmen, C., Arcak, S., Haktanır, K., Topçuoğlu, B. ve Yıldız, H. (2009). Çayırhan Termik Santral emisyonlarının yöre topraklarının bazı

- ağır metal ve kükürt kapsamına etkilerinin belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(1).
- Karagöktaş, M. (2012). *Afşin - Elbistan Termik Santrallerinin Çevreye Olan Olası Etkisinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Keser, N. (2002). Kütahya'da Hava Kirliliğine Etki Eden Topografik ve Klimatik Faktörler. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 5.
- Khalifi, O., Lodolo, A., Vranes, S., Centi, G. ve Miertus, S. (2006). A web-based decision support tool for groundwater remediation Technologies selection. *Journal of Hydroinformatics*, 8(2), 92-100.
- Kimbrough, S., Dallero, D., Shores, R., Vette, A., Black, K. ve Martinez, V. (2008). Multi-criteria decision analysis for the selection of a near road ambient air monitoring site for the measurement of mobile source air toxics *Transportation Research*, 505-515.
- Kone, C. A. ve Buke, T. (2007). An analytical network process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey. *Energy Policy*, 35, 5220-5228.
- Korkmaz, İ. (2000). İstanbul'da Yer Seviyesinde Ozon Kirlenmesi. İTÜ.
- Kulaç, A. (2006). *Eskişehir Tepebaşı Belediyesi için Katı Atık Yönetim Sistemi Seçiminde Analitik Serim Süreci (ANP) Yaklaşımı*. (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuruüzüm, A. ve Atsan, N. (2001). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları. *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 1, 83-105.
- Latif, M., Dominick, D., Ahamad, F., Khan, M. F., Juneng, L., Hamzah, F. M. ve Nadzir, M. S. M. (2014). Long term assessment of air quality from a background station on the Malaysian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 482-483(0), 336-348.
- Lens, P. (2009). Sulfur Cycle. In M. Schaechter (Ed.), *Encyclopedia of Microbiology (Third Edition)* (pp. 361-369). Oxford: Academic Press.
- Marmara Hava Kalitesi Eşleştirme Projesi. (2011). Hava Kalitesi Ölçümleri için istasyon yer seçimi.

- Mavroidis, I. ve Ilia, M. (2012). Trends of NO_x, NO₂ and O₃ concentrations at three different types of air quality monitoring stations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 63(0), 135-147.
- Munshi, U. ve Patil, R. S. (1982). A Method for Selection of Air-Quality Monitoring Sites for Multiple Sources. *Atmospheric Environment*, 16(8), 1915-1918.
- Müezzinoğlu, A. (2002). *Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
- Nazari, S., Shahhoseini, O., Sohrabi-Kashani, A., Davari, S., Sahabi, H. ve Rezaeian, A. (2012). SO₂ pollution of heavy oil-fired steam power plants in Iran. *Energy Policy*, 43(0), 456-465.
- Nevers, D. N. (2000). *Air Pollution Control Engineering* (Second Edition ed.). New York: McGraw Hill.
- Noll, K. E., Miller, T. L., Norco, J. E. ve Raufer, R. K. (1977). An objective air monitoring site selection methodology for large point sources. *Atmospheric Environment*, 2, 1051-1059.
- Noll, K. E. ve Mitsutomi, S. (1983). Design Methodology for Optimum Dosage Air Monitoring Site Selection. *Atmospheric Environment*, 17(12), 2583-2590.
- Ocak, S. ve Turalioğlu, F. S. (2008). *Erzurum Kent Merkezinde Kriter Hava Kirlenmelerinin İzlenmesi*. Paper presented at the Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Hatay.
- Özden, Ö., Döğeroğlu, T. ve Kara, S. (2005). *Assessment of Ambient Air Quality in Eskişehir, Turkey*. Paper presented at the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales, İstanbul.
- Ozden, O. ve Döğeroğlu, T. (2006). A Field Evaluation of a Passive Sampler for the Simultaneous Determination of NO₂ and SO₂ in an Urban and Rural Area. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2(8), 1008-1015.
- Ozkan, A. (2013). Evaluation of healthcare waste treatment/disposal alternatives by using multi criteria decision making techniques. *Waste Management and Research*, 31(2), 141-149.

- Özkan, A. (2008). *Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemlerinin Oluşturulmasında Farklı Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı*. (Doktora Tezi), Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ozkan, A., Banar, M., Acar, I. ve Sipahioğlu, A. (2011). Application of the ELECTRE III Method for a Solid Waste Management System. *Anadolu University Journal of Science and Technology –A Applied Sciences and Engineering*, 12(1), 11-23.
- Özkan, M. (2013). *Kütahya Bölgesindeki Termik Santrallerin Hava Kalitesine Katkılarının Belirlenmesi*. (Lisans Tezi).
- Ozkurt, N., Sari, D., Akalin, N. ve Hilmioglu, B. (2013). Evaluation of the impact of SO₂ and NO₂ emissions on the ambient air-quality in the Çan–Bayramiç region of northwest Turkey during 2007–2008. *Science of the Total Environment*, 456–457(0), 254-266.
- Ozyurt, Z. (2006). *Termik Santral Atıklarındaki İz Elementlerin Çevresel Etkileri*. (Yüksek Lisans Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Özden, O. (2005). *Hava Kalitesinin Monitorlanmasında Pasif Örnekleyicilerin Kullanılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Özkan, M., Tuna, G., Altuğ, H., Elbir, T. ve Gaga, E. O. (2013). *Kütahya Bölgesindeki Termik Santrallerin Hava Kalitesine Katkılarının Belirlenmesi*. Paper presented at the Uluslararası Katılımlı V.HAVA KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜ SEMPOZYUMU (HKK2013), Eskişehir.
- Patil, S. B. ve Patil, R. S. (1990). Estimation of a Quantitative Air-Quality Impact Assessment Score for a Thermal Power-Plant. *Atmospheric Environment Part B-Urban Atmosphere*, 24(3), 443-448.
- Peavy, H. S. (1985). *Environmental Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Pekey, H., Pekey, B., Bozkurt, Z., Arslanbaş, D., Doğan, G. ve Tuncel, G. (2008). *Kocaeli İlinde Evlerin İç ve Dış Ortamlarından İnorganik Gaz Kirleticilerin Düzeylerinin Belirlenmesi*. Paper presented at the Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Prytubak, V. R., Yi, J. ve Mitchell, D. (2000). Comparison of neural network models with ARIMA and regression models for prediction of Houston's

- daily maximum ozone concentration. *European Journal of Operational Research*, 122(1), 31-40.
- Rani, B., Singh, U., Chuhan, A. K., Sharma, D. ve Maheshwari, R. (2011). Photochemical Smog Pollution and Its Mitigation Measures. *Journal of Advanced Scientific Research*, 2(4), 28-33.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*. Pittsburgh, PA: RWS Publications.
- Say, N. P. (2006). Lignite-fired thermal power plants and SO₂ pollution in Turkey. *Energy Policy*, 34(17), 2690-2701.
- Seinfeld, J. H. ve Pandis, S. N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics*. New York: John Wiley&Sons Inc.
- Seron Arbeloa, F. J., Caseiras, C. P., Nogue Lahuerta, L. J. ve Latorre Andres, P. M. (1993). Air quality monitoring for multiple pollutants: Optimization of a network around a hypothetical potash plant and two thermal power stations in open countryside. *Environmental Monitoring and Assessment*, 27(2), 107-134.
- Spangl, W., Schneider, J., Moosman, L. ve Nagl, C. (2007). Representativeness and classification of air quality monitoring stations *DRAFT FINAL REPORT*. Vienna.
- Spellman, G. (1999). An application of artificial neural networks to the prediction of surface ozone concentrations in the United Kingdom. *Applied Geography*, 19, 123-136.
- Şen, E. ve Başaran, N. (2008). *2007-2008 Yılı Kış Mevsiminde Konya'da Meydana Gelen Hava Kirliliğine Meteorolojik Şartların Etkisinin Araştırılması*. Paper presented at the Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Taşdemir, Y., Cindoruk, S. S. ve Esen, F. (2004). Monitoring of Criteria Air Pollutants in Bursa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 110, 227-241.
- ThermoScientific. (2000). UV Fotometrik O₃ Analizörü (49C) Kullanım Kılavuzu. Franklin, MA: Thermo Environmental Instruments, Inc.

- ThermoScientific. (2006). Kemilüminesans NO-NO₂-NO_x Analizörü (42i) Teknik Kullanım Kılavuzu. In T. E. Corporation (Ed.). Thermo Electron Corporation.
- Tran, T. L., Knight, G. C. ve O'Neill, V. R. (2004). Integrated environmental assessment of the Mid-Atlantic region with analytical network process. *Environmental Monitoring and Assessment*, 94, 263-277.
- Turalıoğlu, F. S., Bayraktar, H. ve Akal, A. (2008). *Şehirleşme ve Meteorolojik Faktörlerin Erzurum Hava Kalitesine Etkisi*. Paper presented at the Ulusal Hava Kalitesi Sempozyumu, Konya.
- Turalıoğlu, F. S., Nuhooğlu, A. ve Bayraktar, H. (2005). Impacts of some meteorological parameters on SO₂ and TSP concentrations in Erzurum, Turkey. *Chemosphere*, 59(11), 1633-1642.
- Ücük, M., Yaman, G., Yılmaz, M., Korkut, M., Ergün, E., Akıncı, L. ve Altunyurt, H. (2013). Gaziantep Hava Kalitesi Değerlendirme Raporu *Kentlerde Hava Kalitesinin Geliştirilmesi Projesi - KENTAİR*. Gaziantep.
- van Doorn, W., Arpacıoğlu, C. B., Kaybal, G., Elbir, M., Kılıçlar, L., Akcan, N. ve Yeşilyurt, C. (2005). *Preliminary Assessment of Ambient Air Quality in the Cities of Ankara and Kütahya*. Paper presented at the Third International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Global Scales., İstanbul.
- Vardar, N. ve Yumurtacı, Z. (2010). Emissions estimation for lignite-fired power plants in Turkey. *Energy Policy*, 38(1), 243-252.
- Vossler , T. L., Lewis, C. W., Stevens, R. K., Gordon, G. E., Tuncel, S. G., Russwarm, G. M. ve Keeler, S. G. (1989). Composition and origin of summertime air pollutants at Deep Creek Lake, Maryland. *Atmospheric Environment Part B-Urban Atmosphere*, 23, 1535-1547.
- Wallace, J. M. ve Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric Science* (Second Edition ed.). Salt Lake City: Academic Press.
- Wark, K., Warner, G. E. ve Davis, W. T. (1998). *Air Pollution Its Origin and Control* (Third Edition ed.). Boston: Addison Wesley Longman Inc.

- Witz, S. ve Moore, A. B. (1981). Effect of Meteorology on the Atmospheric Concentrations of Traffic-Related Pollutants at a Los Angeles Site. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 31(10), 1098-1101.
- Wuebbles, D. J. (2008). Oxygen Cycle. In S. E. J. D. Fath (Ed.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 2609-2615). Oxford: Academic Press.
- Yay, O. D. (2006). *Eskişehir ve Yakın Çevresinde Yüzey Ozon Dağılımının MM5-CAMx Modelleri Kullanılarak Belirlenmesi*. (Doktora Tezi), Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Yeşilyurt, C. ve Akcan, N. (2001). Hava Kirliliği İzleme Metodolojileri ve Örnekleme Kriterleri.
- Yousif, S. A., Salem, A. A., Nassar, Y. F. ve Bader, I. F. (2006). Investigation of pollutants dispersion from power stations. *International Journal of Energy Research*, 30(15), 1352-1362. doi: 10.1002/er.1225
- Yüksek, A., Can, J., Dinçer, K. V., Oğuzhan, S. ve Sabah, İ. (2013). Adana Hava Kalitesi Değerlendirme Raporu *Kentair G2G11/TR/6/2 Kentlerde Hava Kalitesi Değerlendirme Sisteminin Geliştirilmesi Projesi*. Adana.
- Zafarani, H. R., Hassani, A. ve Bagherpour, E. (2014). Achieving a desirable combination of strength and workability in Al/SiC composites by AHP selection method. *Journal of Alloys and Compounds*, 589, 295-300.
- Zak, J. (2005). *The Comparison Of Multiobjective Ranking Methods Applied To Solve The Mass Transit Systems' Decision Problems*. Paper presented at the. Proceedings of the 16th Mini - EURO Conference and 10th Meeting of EWGT.
- Zeydan, Ö. ve Yıldırım, Y. (2013). *Çatalağzı Enerji Havzasındaki Termik Santrallerden Kaynaklı Emisyonların Belirlenmesi*. Paper presented at the Uluslararası Katılımlı V.HAVA KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜ SEMPOZYUMU (HKK2013), Eskişehir.
- Zhao, Y., Wang, S., Duan, L., Lei, Y., Cao, P. ve Hao, J. (2008). Primary air pollutant emissions of coal-fired power plants in China: Current status and future prediction. *Atmospheric Environment*, 42(36), 8442-8452.